

ACTA UNIVERSITATIS SZEGEDIENSIS

ACTA GEOGRAPHICA

Tomus XII.

Fasc. 1—7.

SZEGED, (HUNGARIA)

1972

ACTA UNIVERSITATIS SZEGEDIENSIS

ACTA GEOGRAPHICA

Tomus XII.

Fasc. 1–7.

SZEGED, (HUNGARIA)

1972

Adiuvantibus

DR. L. Jakucs, DR. Gy. Krajkó, DR. I. Pénzes

redigit

DR. I. PÉNZES

Edit

**Facultas Scientiarum Naturalium Universitatis Szegediensis
de Attila József nominatae**

Nota

Acta Geogr., Szeged

Szerkeszti

DR. PÉNZES ISTVÁN

A szerkesztő bizottság tagjai:

DR. Jakucs László, DR. Krajkó Gyula, DR. Pénzes István

Kiadja

**a Szegedi József Attila Tudományegyetem Természettudományi Kara
(Szeged, Aradi Vértanúk tere 1.)**

Kiadványunk rövidítése

Acta Geogr., Szeged

DIE DEUTUNG DER KARSTKORROSION DER IN DER NATUR VORKOMMENDEN KALKGESTEINE IN DER GEOMORPHOLOGIE UNSERER ZEIT

DR. L. JAKUCS

Die Theorie der Karstkorrosion ist in den letzten Jahren – teilweise durch die sich aus der stürmischen Entwicklung der chemischen Wissenschaft ergebenden Deutungen der Prozesse, vor allem aber unter dem Einfluss der sich immer vermehrenden Anzahl von Forschungsangaben – erheblich zeitgemäss geworden. So kann genetisch der Formenschatz der zonalen und ausserzonalen Karste heute nur noch aufgrund der genauen Kenntnis von Beschaffenheit und Mengen der sie erzeugenden Wirkungsprozesse erklärt werden. Zu manchen Teilen der weiteren Entwicklung der Lösungstheorien haben auch ungarische, ja sogar im engeren Sinne genommen meine eigenen Forschungsergebnisse beigetragen. Dies alles macht wohl begründet, die vorliegende zusammenfassende Arbeit zu schreiben.

Unter dem Begriff Karstkorrosion verstehen wir die eigenartigen Denudationsprozesse durch Auflösung der Kalkgesteine (im engeren Sinne auch anderer im Wasser gut und ohne Rückstand löslicher Gesteine).

Was die Wasserlöslichkeit des Kalkgesteines anbelangt, müssen wir an drei scharf unterschiedliche Vorgänge denken, wobei nämlich zu unterscheiden sind einerseits die in reinem (destilliertem) Wasser vor sich gehende *karbonatische Lösung*, andererseits die *hydrokarbonatische Lösung*, d. i. in kohlendioxidhaltigem Wasser erfolgenden Lösungsreaktionen des Kalkgesteins. Zwischen den beiden gibt es spezifische qualitative und quantitative Unterschiede, doch sind beide Vorgänge reversibel. Schliesslich verstehen wir unter dem dritten Lösungstyp den Vorgang, wobei die Auflösung des Kalksteins durch Vermittlung von anderen chemisch wirkenden, vorwiegend organischen und anorganischen Bodensäuren usw. vorstatten geht. Im letzteren Falle wird das CaCO_3 , der in Lösung gegangene neue Kalzium-Verbindung in der Regel nicht mehr umkehren.

I. Die karbonatische Lösung des Kalkgesteins

Im Laufe der in destilliertem Wasser vor sich gehenden Lösung bleiben die dissoziierten Ionen des Kalksteins (CaCO_3) fortlaufend unverändert erhalten, d. h. das Lösungsgeschehen wird durch die folgende Reversibilitätsbeziehung ausgedrückt:



Zwischen der festen Phase (CaCO_3), dem Lösungsmittel (H_2O) und den gelösten Ionenmengen kommt ein Lösungsgleichgewicht zustande, das durch das Löslichkeitsprodukt K_1 definiert werden kann (TILLMANS 1942, MILLER 1952). K_1 ist ein veränderlicher Index, dessen absoluter Wert sich im allgemeinen geradlinig nach den Temperaturveränderungen der Lösung richtet, ausserdem hängt sie auch von gewissen Eigentümlichkeiten der Kristallstruktur der festen Phase ab. So liegt der Index K_1 der rhombisch-bipyramidalen CaCO_3 -Modifikation (Aragonit) höher, als der des trigonalen Kalzits (SCHOELLER 1956).

In der Tabelle I wird eine Zusammenstellung aus den in der Literatur angeführten Werten zur Beurteilung der absoluten und veränderlichen Grössenordnungen des Index K_1 angegeben.

TABELLE I.

Fachliterarische Angaben über die Löslichkeit der Modifikationen von CaCO_3 mit unterschiedlicher Kristallstruktur

Autor (Jahr)	Temperatur (°C)	gelöstes CaCO_3 in mg/l		
		Kalzit	Aragonit	amorphes CaCO_3
SCHLOESING* (1872)	8,7	10,0	—	—
SCHLOESING (1872)	16,0	13,1	—	—
SCHLOESING (1872)	25,0	14,3	—	—
CHARLOT- ENSCHWILLER (1939)	—	12,4	—	—
TROMBE (1952)	16,0	16,0	—	—
HODGMAN (1955)	kalt	14,25	—	—
HODGMAN (1955)	warm	18,75	—	—
SCHOELLER (1956)	25,0	14,33	15,28	14,45
SCHOELLER (1956)	50,0	15,04	16,16	15,15
SCHOELLER (1956)	100,0	17,79	19,02	18,16

*Die 1872 erschienene bodenkundliche Arbeit von SCHLOESING ist im Original in Ungarn nicht bekannt, seine Angaben sind aber von Autoren im Westen oft angeführt worden, so z. B. von O. LEHMANN (1932) oder F. TROMBE (1952) usw. Die in der Tabelle angegebenen Daten von SCHLOESING konnten also nur aufgrund sekundärer Quellen mitgeteilt werden.

Hinsichtlich der beanspruchten Zeit der Kalksteinlösung in reinem Wasser sind die Meinungen in der Literatur ziemlich widerspruchsvoll. Nach HARRAS-SOWITZ 1954, BÖGLI 1956, 1960, H. LEHMANN 1956, 1960, BAUER 1964, FRANKE 1967 u. a. handelt es sich dabei nämlich um eine ausserordentlich schnell ablaufende Reaktion. Wenigstens wird das von den angeführten Autoren durch die Tatsache für wahrscheinlich gehalten, dass sie im Laufe ihrer Felduntersuchungen anhand der an den Kalksteinoberflächen aufgefangenen Wasserproben geringere Menge von gelöstem CaCO_3 , als es in der Tabelle vorkommt, nicht nachweisen konnten. Zwar hat z. B. der Österreicher BAUER (a. a. O.) zum Zweck der Analyse die in den Karrenrillen abfliessenden Niederschläge „in statu nascendi“ aufgefangen, die insgesamt nur einige Sekunden lang mit der Oberfläche des Kalksteins in Berührung standen. Auf diesem Grund gibt BÖGLI (1960, 1963) die beanspruchte Zeit für die nichtkarbonatische Lösung in ca. 1 Sekunde an. (Siehe dieselbe Fragestellung noch auch bei der hydrokarbonatischen Lösung!)

Nach MARKÓ (Karszt és Barlang, 1963, Nr. 1, p. 37) beweisen aber diese Messergebnisse nicht die hohe Geschwindigkeit des Lösungsgeschehens, sondern dass unter den speziellen Messbedingungen die Ionendiffusion überaus rasch erfolgt, obwohl die Geschwindigkeit dieses Vorganges, wie die Lösungsgeschwindigkeit jeder festen Substanz, in erster Linie durch die Diffusionsgeschwindigkeit bedingt ist, wodurch die gelösten Molekülen oder Ionen aus der in der Oberflächennähe der festen Phase befindlichen gesättigten Flüssigkeitsschicht in die weiter entfernt gelegene Schicht gelangen können. Es ist also natürlich, dass auf diese Weise die Diffusionsbedingungen in dem an der Oberfläche flächenhaft und laminar abfließenden Flüssigkeitsfilm optimal sind, was nach der Deutung von MARKÓ die grössere Intensität der Lösungsdynamik tatsächlich erklären kann.

Zu gleicher Zeit aber gehen GERSTENHAUER und PFEFFER (1966) einen Schritt noch weiter, als sie aufgrund ihrer eigenen ausgedehnten Untersuchungsergebnisse die Zuverlässigkeit der Analysendaten von BÖGLI gerade bezweifeln. Sie haben nämlich, als sie die Zeitkurven der Auflösung bei den an verschiedenen Punkten der Erde entnommenen Kalksteinproben unter sterilen Laborverhältnissen kontrollierten, diesen schnellen Einsatz des Sättigungszustandes durchaus nicht bemerkt, sondern — wie es in unserer die zeitlichen Ergebnisse des Lösungsgeschehens darstellenden Abb. 1. angezeigt wird — um

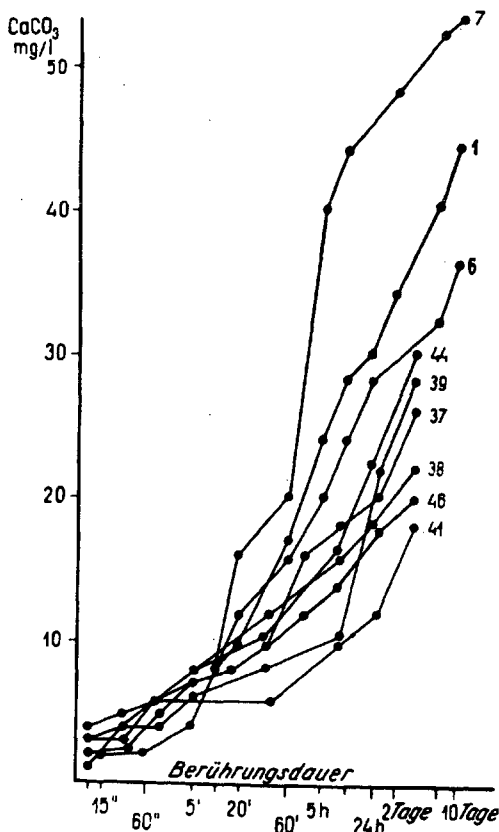


Abb. 1. Zeitliche Abläufe der Lösung verschiedener Kalksteintypen in dem durch atmosphärisches $p\text{CO}_2$ gesättigten Wasser (nach GERSTENHAUER — PFEFFER)

die vielfache Grössenordnung längere Ablaufzeiten beobachtet. Um den Lösungsgrad von 13 mg/l zu erreichen, war eine ganztägige Berührungszeit notwendig, das um so mehr überraschend ist, als in dem von den GERSTENHAUER's zur Lösung gebrauchten Wasser auch ein wenig Kohlensäure vorhanden war, was sonst die Lösung zu beschleunigen pflegt.

Die Ursache für die ausserordentlich scharf auftretenden und als unvereinbar scheinenden Widersprüche hinsichtlich der Grössenordnungen liegt dabei sicherlich in der unterschiedlichen chemischen Untersuchungsmethodik der einzelnen Autoren. Ohne uns auf Einzelheiten einzugehen (dies ist bei MERCK, MÜLLER und GERSTENHAUER zu finden), müssen wir darauf hinweisen, dass BÖGLI und FRANKE ihre Wässer nach der Methode WARTHALUNGE mit Methylorange als Indikator titriert, dagegen die GERSTENHAUER's die Titration mittels Titriplex III (Calconkarbonsäure) durchgeführt haben. In der Diskussion sollte der Standpunkt von GERSTENHAUER näher zur Wahrheit stehen, da der von ihm verwendete Indikator ausgesprochen kalziumspezifisch ist, der nur auf Ca^{++} -Ionen reagiert, und so ergibt er bereits bei ganz dünnen Lösungskonzentrationsverhältnissen einen zuversichtlich erkennbaren Farbumschlagpunkt.

In der Natur kommt übrigens diesem soeben behandelten karbonatischen Lösungsvorgang nur eine ziemlich subordinierte praktische Bedeutung zu, wenigstens in direktem Sinne. Unter den verkarstenden Faktoren kommt nämlich vollständig reines (quasi destilliertes) Wasser in der Geosphäre nicht vor. Die hinsichtlich der tatsächlichen Karstkorrosion in Betracht kommenden phreatischen Wässer (sogar noch das Regenwasser) enthalten stets mehr oder weniger gelöste chemische Stoffe, deren wechselnde Menge und die Qualität ihrer Zusammensetzung die Karbonatlösungspotenz des Wassers in entscheidendem Masse umwandeln.

Die Fachliteratur hebt von diesen Zusammenhängen eindeutig die wichtige Rolle der *Kohlensäuresättigung des Wassers* hervor, denn bereits das schwach kohlensäurehaltige Wasser kann auch das Vielfache jener Kalksteinmenge auflösen, die das reine Wasser in Lösung zu bringen vermag.

II. Die hydrokarbonatische Lösung des Kalkgesteins

Die Löslichkeit des Kalksteins durch Kohlensäure nennt man hydrokarbonatische Lösung, da die in der Lösung anwesenden Kohlensäure-Ionen mit dem Kalkstein in chemische Verbindung kommen und als dessen Folge kommt eine neue, nur in wässriger Lösung vorkommende Verbindung, das vollständig lösliche Kalziumhydrokarbonat $[\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2]$ zustande (KYRLE 1923, TILLMANS 1932 usw.).

Der Regulator für die hydrokarbonatische Lösung des Kalkgesteins und für das Gegenspiel des Lösungsvorganges, d. h. den gelegentlichen Wiederabsatz des gelösten Kalkgehaltes ist in jedem Fall der relative Sättigungszustand des den Vorgang tragenden, vermittelnden Wassers bzw. der Lösung mit Kohlendioxid (Kohlensäure). Das heisst, es ist angebracht, die Beziehung in erster Annäherung auf solche Weise zu fassen, dass das mit dem Kalkstein in Berührung kommende Wasser um so mehr CaCO_3 aufzulösen vermag, je mehr die in ihm vorher aufgelöste CO_2 -Menge ist. Wenn man also den CO_2 -Gehalt des mit dem Kalkstein in Berührung stehenden Wassers erhöht, wird auch die gelöste Kalksteinmenge zunehmen, und wenn Kohlendioxid aus dem Wasser entweicht (z. B.

verdunstet), so wird der gelöste Kalkgehalt des Wassers abnehmen, d. h. ein Teil des früher bereits in gelöstem Zustand vorhandenen Kalksteins scheidet wieder aus und akkumuliert (Bildung von Kalkschlämmen chemischer Herkunft, Tropfsteinbildung, Sinterbildung usw.).

Die Grössenordnung des Gesamtgehaltes an gelöstem CO_2 eines natürlichen Wassers kann sehr unterschiedlich sein, und nachdem zwischen dem Kohlensäuregrad und der Karbonatlösungspotenz des Wassers geradlinige Beziehung besteht, so müssen wir zur *Deutung des Grades der Korrosionsdynamik im gegebenen Wasser immerhin die wichtigsten Bedingungen untersuchen, die die Verhältnisse des mit dem Gestein in Berührung kommenden, im Wasser absorbierten CO_2 bestimmen.*

CO_2 (gasförmig im Luftraum) \rightleftharpoons CO_2 (im Wasser absorbiert) 2.

Das Absorptionsvermögen des Kohlendioxids wird durch folgende Faktoren beeinflusst:

1. Kohlendioxid-Anteil der die flüssige Phase (Wasser) berührenden gasförmigen Phase (Luftraum), der durch den *Partialdruck* des Kohlendioxids ($p \text{ CO}_2$) ausgedrückt wird.
2. Wechselseitige Temperatur des Lösungsmittels bzw. des Gases, bei welcher der Lösungsvorgang abläuft.
3. Grössenordnung des auf das Lösungsmittel und den mit ihm in Berührung stehenden Gasraum zusammen wirkenden hydrostatischen Druckes.
4. Der dem Lösungsvorgang zur Verfügung stehende Zeitfaktor.

Aufgrund der Obigen ist es leicht zu ersehen, dass die Löslichkeit des CO_2 -Gases und die Zersetzung der Lösung (ihre Umkehr) für die variable Funktion der aus der Wirkungskomplexität sich ergebenden überaus vielen Variationsfaktoren gilt, denn die Änderung von jedem der in den vier Punkten aufgezählten wirkenden Faktoren verschiebt sogleich das Gleichgewicht, wie Gleichung 2 darstellt, in der Richtung entweder des oberen oder des unteren Pfeils.

Obwohl sich in der Natur die die Löslichkeit des CO_2 steuernden Bedingungen komplex auswirken, lohnt es sich jedoch wegen der deutlicheren Übersicht, die Rolle der in den einzelnen Punkten festgelegten wirkenden Faktoren auch vereinzelt zu überprüfen.

Vor allem weisen wir im Sinne des HENRY-DALTON-Gesetzes (1803) darauf hin, dass das Löslichkeitsverhältnis der in dem mit dem flüssigen Lösungsmittel im Kontakt stehenden Gasraum vorhandenen gasförmigen Bestandteile in geradem Verhältnis zum Partialdruck (p) und in umgekehrtem Verhältnis zur Temperaturveränderung steht. Auf dessen Grund kann die im Wasser gelöste CO_2 -Menge mit Hilfe der nachstehenden Formel bestimmt werden:

gelöstes CO_2 in g/l = $L \cdot p \cdot 1,9634$ 3.

Wobei der Wert 1,9634 gleich dem CO_2 -Gewicht in g je Liter, p ist die den Partialdruck bezeichnende Zahl, während L ein für CO_2 -Gas charakteristischer und temperaturabhängiger sog. *Löslichkeits- oder Absorptionskoeffizient* ist. Die Werte von L für die im Laufe der Verkarstung zu berücksichtigenden wichtigsten Temperaturen werden in Tabelle 2 enthalten.

Mit Hilfe der Formel 3 hat schon SCHLOESING (1872) alle im Wasser löslichen Kohlendioxidmengen auf gegebene Temperaturen und $p \text{ CO}_2$ bezogen errechnet und tabellenmässig zusammengestellt. Seine für uns wichtigen Werte sind in Tabelle 3 angegeben.

TABELLE 2.

Veränderungen des L-Wertes von CO₂ in Abhängigkeit der Temperatur

	Lösungstemperatur °C							
	0	5	10	15	17	20	25	30
L =	1,713	1,424	1,194	1,019	0,956	0,878	0,765	0,665

TABELLE 3.

Veränderung der CO₂-Lösungsfähigkeit im Wasser bei den in der Praxis vorkommenden Temperatur- und p CO₂-Werten

p CO ₂ in der Atmosphäre	Die im Wasser gelöste CO ₂ -Gesamtmenge in mg/l angegeben, bei folgenden Wärmegraden							
	0 °C	5 °C	10 °C	15 °C	20 °C	20 °C	25 °C	30 °C
0,0001	0,34	0,28	0,23	0,20	0,19	0,17	0,15	0,13
0,0003	1,01	0,84	0,70	0,60	0,56	0,52	0,45	0,39
0,0005	1,68	1,40	1,17	1,00	0,94	0,86	0,74	0,65
0,00075	2,52	2,09	1,76	1,50	1,41	1,28	1,12	0,98
0,001	3,36	2,80	2,34	2,00	1,88	1,72	1,49	1,31
0,0015	5,04	4,19	3,51	3,00	2,82	2,58	2,24	1,96
0,002	6,73	5,59	4,69	4,00	3,76	3,45	3,01	2,61
0,0025	8,40	6,99	5,85	5,00	4,70	4,28	3,73	3,28
0,005	16,8	13,98	11,7	10,0	9,4	8,57	7,46	6,56
0,0075	25,2	20,9	17,6	15,0	14,1	12,8	11,2	9,79
0,01	33,6	28,0	23,5	20,0	18,8	17,2	14,9	13,1
0,02	67,3	55,9	46,9	40,0	37,6	34,5	30,0	26,1
0,03	101	83,9	70,4	60,0	56,5	51,7	45,1	39,2
0,04	135	112	93,8	80,1	75,6	69,0	60,0	52,2
0,05	168	140	117	100	94,1	86,2	74,6	65,3
0,06	202	168	141	120	113	103	90,0	78,4
0,07	236	196	164	140	132	121	105	91,4
0,08	269	224	188	160	151	138	120	104
0,09	303	252	211	180	169	155	135	118
0,1	336	280	235	200	188	172	149	131
0,2	673	559	469	400	376	342	300	261

Von der Tabelle 3 ist abzulesen, dass das in der Luft bei 5 °C fallende Niederschlagswasser etwa 0,84 mg/l Kohlendioxid, unter Berücksichtigung der für die Atmosphäre im allgemeinen charakteristischen 0,0003 p CO₂-Werte (Kohlendioxidgehalt 0,03%), zu absorbieren vermag. Bei wärmerer Lufttemperatur, z. B. dem auch in Ungarn im Sommer, in den Tropen aber allzeitig vorkommenden 30 °C, ist die absorbierte Menge CO₂ noch geringer (0,39 mg/l).

Dagegen ist es wahr, dass der Kohlendioxidgehalt der bodennahen Luft in den Tropen, wo ganzjährlich eine intensive CO₂-Produktion im Boden vor sich geht, wegen der Vermoderung des reichen Gehalts an organischer Substanz, aber auch unter dem Einfluss von anderen boden- und biogenetischen Prozessen manchmal sogar höhere Werte als die durchschnittlichen erreichen kann. So hat z. B. LEHMANN 1955 in Kuba in dem bei 22 °C Lufttemperatur aufgefangenen Regenwasser 2,5 mg/l CO₂-Gehalt vermutlich atmosphärischer Herkunft festgestellt, das nach der Tabelle von SCHLOESING (Nr. 3) einem atmosphärischen Druck von 0,0016 p CO₂ entsprechen sollte (H. LEHMANN 1956).

Der aus dieser Angabe zu errechnende überraschend grosse atmosphärische Kohlendioxid-Anteil (0,15%) wurde aber durch unmittelbar gleichzeitige Luftanalyse nicht kontrolliert, so ist die ausschliesslich atmosphärische diffusive Herkunft des verhältnismässig wirklich hohen Wertes des gelösten CO_2 noch immer nicht genügend überzeugend bewiesen. Auch die Möglichkeit ist beispielsweise nicht ausgeschlossen, dass die Beimischung der *aus der mechanischen Zerstäubung der* mit dem Boden bereits in berührung gekommenen *Starkergentropfen* mit hoher kinetischer Energie entstammenden winzigen schwebenden Wasserstaubteilchen die CO_2 -Proportionen innerhalb der Lösung erhöhen konnte, denn es ist ja bekannt, dass der Feuchtigkeitskomponent der auf solche Weise gebildeten Aerosole in verhältnismässig hohem % die Ionen des Bodens enthält (CAUER 1954, L. JAKUCS 1953, 1959). Wir können aber auch daran denken, — wenigstens an die teilweise Ursache der Erscheinung, — dass die p CO_2 -Verte des Niederschlags nicht durch die Temperatur des untersuchten Niederschlagszone, sondern durch die in dem mehrere tausend Meter hoch liegenden kalten Wolkenniveau der Feuchtigkeitskondensation vorherrschenden viel niedrigeren Temperaturen bedingt werden.

Dass die von uns erwähnten Faktoren die chemische Zusammensetzung des in geringer Höhe über dem Bodenhorizont aufgefangenen Niederschlagswassers mit aller Gewissheit erheblich (in bedeutender Grössenordnung besonders der Faktor Aerosol) modifizieren, das wird auch durch die wasseranalytischen Ergebnisse der gemässigten Zone, ja sogar auf ähnliche Weise die der Hochgebirge unterstützt, welche Analysen in den Alpen BÖGLI (1960), BAUER (1964) und in Ungarn CZÁJLIK (1961) unternommen haben und wobei auch sie in dem über dem Boden aufgefangenen Niederschlagswasser je nach Volumen fast die gleichen Kohlendioxid-Mengen nachgewiesen haben (CO_2 -Werte zwischen 1,32–3,63 mg/l).

Selbstverständlich dürfen wir über eine bedeutendere hydrokarbonatische Lösung des Kalksteins bei Anwesenheit dieser wenn auch 2–3 mg/l Menge von gelöstem CO_2 wohl kaum sprechen, denn — wie das von den Werten der Tabelle 4 ablesbar ist — dazu, dass hydrokarbonatische Lösung durch das mit Kalkstein in Kontakt stehenden Wasser wenn auch nur in dem Ausmass auftreten könne, in welchem die einfache Dissoziationslösung nach Gleichung 1 vonstatten ging (d. h. ca. 13 mg/l CaCO_3), bedürfte es einen gelösten CO_2 -Gehalt etwa von 6 mg je Liter, was aber das Zehnfache des in der Luft befindlichen p CO_2 benötigen würde. Hingegen weist der tatsächlich gelöste CO_2 -Gehalt der in der Natur vorkommenden und die Karstkorrosion bewirkenden Boden- bzw. Karstwässer (und somit auch ihre hydrokarbonatische Lösungsfähigkeit) in der Wirklichkeit vielfach grössere (sehr oft sogar über 100 mg/l!) Proportionen auf. *Es lässt keinen Zweifel übrig, dass das auf den Boden gefallene Niederschlagswasser diese hohe Kohlendioxidkonzentration nicht aus der Luft, sondern aus dem Boden selbst bekommt.*

Der Umstand, dass die Böden, so auch die die Kalkgesteine überdeckenden Bodenarten, über eine Bodenatmosphäre von hohem p CO_2 -Wert verfügen, ist schon lange her durch die pedologischen Forschungen nachgewiesen worden (SCHLOESING 1872, FODOR 1875, WOLLNY 1880, BOUSSINGAULT und LÉVY 1853 usw.).

Auf die Untersuchung der Bodenatmosphäre, d. h. des das Porenvolumen der Böden mit lockerem Gefüge ausfüllenden Gasgemisches soll im späteren noch ausführlicher eingegangen werden, hierbei sei doch im voraus bemerkt, dass der CO_2 -Bestand insbesondere der Atmosphäre der an organischen Substanzen reichhaltigen Böden nach den pedologischen Autoren im allgemeinen 1%, nicht selten

aber sogar 10% überschreitet. Dieser Umstand soll aber als eine *die Dynamik der Karstkorrosion mit ausschlaggebender Bedeutsamkeit regelnde Bedingung* betrachtet werden, denn die Bodenluft, die hierbei mit dem an die Bodenteilchen haftenden Wasser an sehr grossen Flächen in Berührung kommt, wirkt sich sogleich auf den auf die Bodenoberfläche fallenden und dort versickernden Niederschlag aus, und somit wird das Wasser schon in der obersten Bodenschicht dem $p\text{ CO}_2$ -Wert des dort vorhandenen Gasgemisches entsprechend mit Kohlensäure gesättigt.

Die nach der Karstgenetik forschenden Geographen machten sich auf die die Kalklösung regelnde sehr wichtige Rolle der Bodenluft ebenfalls relativ früh aufmerksam. In seinem 1906 erschienenen Werk analysiert KNEBEL die Wechselwirkung bereits vielseitig, aber mit den Beziehungen zwischen dem Boden und der Lösungsfähigkeit des Wassers haben die Forscher auch schon lange vor ihm gerechnet. So hat z. B. der ungarische IMRE VASS bereits im Jahre 1831 die Theorie der Tropfsteinbildung von PARROT, LANG und SOMMER eingehend bekanntgemacht, die den auch heute angenommenen wissenschaftlichen Ansichten sehr nahe kommt. Diese Forscher erklären die Tropfsteinbildung nach VASS durch die Lösungsarbeit der Niederschlagwässer, die „durch die von Kohlensäure durchtränkte Schicht der gemoderten Pflanzen und des Gartenbodens“ absickert.

CHOLNOKY (1940) hat gleichfalls nachdrücklich die im Aggressivwerden des Wassers gespielte Rolle des Kohlendioxids des Bodens hervorgehoben: „Wir wissen, dass im Boden eine ständige Vermoderung, eine langsame Oxydation vor sich geht und Kohlendioxidgas entsteht. Das konzentriert sich dann an den Körnern des Bodenskeletts, denn diese haben ja immer eine gasverdichtende Eigenschaft. Wenn es nach trockenem Wetter zu regnen anfängt, spürt man den sog. „Regengeruch“. Das ist der kennzeichnende Geruch der Gase, die durch die Regentropfen von der Oberfläche der Ackerkrumeteilchen entfernt wurden. Es kann nachgewiesen werden, dass es dabei sehr viel Kohlensäure in den unteren Luftschichten des benetzten Gebietes gibt. Hierbei gelangt also viel Kohlensäure ins gefallene Regenwasser, besonders infolge des dynamischen Druckes der anschlagenden Regentropfen. Diese grosse Menge Gas wird durch das Wasser in die Spalten des Felsens mitgeführt.“ (A. a. O. S. 106.)

Nach den von TROMBE und JACKLY in Frankreich bzw. in der Schweiz vorgenommenen Messungen (TROMBE 1951, 1952, 1956) kann in den die Karstgesteine abdichtenden Bodenschichten die Lagerung des CO_2 -Gases auch solche maximale Ausmasse annehmen (10–25%!), wie sie in der Atmosphäre sonst nirgends vorkommen.

Um die Veränderungen des CO_2 -Gehaltes der Bodenatmosphäre und deren Gesetzmässigkeiten herauszustellen, führte in Ungarn D. FEHÉR (1954) sehr umsichtige und eingehende Untersuchungen durch, dann hat neuestens der Verfasser der vorliegenden Arbeit in den ungarischen und jugoslawischen Karstböden Messungen (in 1967–68) vorgenommen. Die Ergebnisse von all diesen Untersuchungen zeigen, dass sich *die Zusammensetzung der Bodenluft durch rasche und empfindliche Veränderungen sowohl auf die makro-, als auch auf die mikroklimatischen Wirkungsfaktoren auswirkt, und kennzeichnende gleichzeitige Unterschiede sogar an derselben Untersuchungsstelle (z. B. in einer einzigen Doline) in Abhängigkeit des im Boden lebenden Vegetationstypus, ja sogar der individuellen Arten in der Rhysosphäre (im Wurzelnetz der Pflanzen) aufweist* JAKUCS 1970, 1971).

Aus dem Gesagten geht offensichtlich hervor, dass die aus dem Niederschlag stammenden Sickerwässer, durch welche infolge ihrer Kalksteinlösung die ganze Karstentwicklung gesteuert wird, *ihrer die Korrosionsdynamik bestimmenden Koh-*

lensäuregehalt im wesentlichen immer und überall in den obersten Horizonten der Bodenschicht gewinnen. Das bedeutet also, dass die Geschwindigkeit der korrosiven Karstdenudation in einem Raum — neben durch die versickernde Niederschlagsmenge — in ersten Linie durch die biologischen und andere Bodenentwicklungsprozesse der die Oberfläche überlagernden mehr oder weniger mächtigen Bodenschicht bedingt wird.

Es ist zu erwähnen, dass das von den oberirdischen Humusbodenschichten in das Kluftnetz des Kalkgesteins versickernde Wasser im Innern des Lithoklasensystems zumeist keine Gelegenheit mehr besitzt, mit Gasräumen, die von der Bodenatmosphäre qualitativ und quantitativ wesentlich unterschiedlicher Zusammensetzung sind, in Berührung zu kommen und deshalb bewahrt das absickernde Wasser die im Boden erhaltenen Kohlensäurewerte nahezu unverändert, bis es in eine gut gelüftete Höhle gelangt oder wieder an die Oberfläche kommt, wobei natürlich das Wasser die mitgeführten Kohlendioxidmengen verdunstet, bis das neuere, den neuen und geringeren $p\text{ CO}_2$ -Werten der neuen Umgebung entsprechende Gleichgewicht wiederhergestellt wird.

Die *Temperatur* des im Innern der karstig reif werdenden Kalksteinmasse, im Lithoklasensystem gravitativ versickernden Wassers verändert sich unterwegs in der Regel praktisch nicht, denn es ist ja bekannt, dass die senkrecht wasserwegsame Kluftsysteme zugleich auch als Austauschwege der Konvektionswärme gelten, die in der über dem vollständigen Karstwasserniveau lagernden Verbandsserie nahezu vollkommen die der jährlichen Mitteltemperatur der Landschaft entsprechende gleichmässige Wärmemenge gewähren können. Auf diese Weise übt der thermische Faktor für die Bestimmung des CO_2 -Gehaltes im Wasser meistens nur auf die oberste Bodenzone der Versickerung seinen Einfluss aus, wobei er den in Tabelle 3 dargestellten Verhältnissen entsprechend seine Wirkung geltend macht.

Wir müssen aber bemerken, dass die in der Natur praktisch vorkommenden Bodentemperaturdifferenzen im Verhältnis zur Auswirkung der Partialdruckdifferenzen wohl auch noch in extremen Fällen eine viel geringere, die CO_2 -Lösung quantitativ beeinflussende Rolle spielen, denn bei jeder Grössenordnung der $p\text{ CO}_2$ -Menge kann ja das Wasser mit 0°C Temperatur etwa das Doppelte mehr Menge Kohlendioxid auflösen, die auch durch das Wasser mit 20°C löslich ist. So gehen wir bei der karstdynamischen Auswertung des thermischen Faktors wahrscheinlich dann den richtigen Weg, wenn wir in Übereinstimmung mit der Mehrzahl der heutigen klimatisch-karstmorphologischen Autoren (H. LEHMANN, TROMBE, BÖGLI, WISSMANN, GWOSDETSKI usw.) die Wirksamkeit der für die einzelnen Klimazonen der Erde kennzeichnenden Temperaturhöhen nicht im direkten Sinne von SCHLOESING auffassen, sondern als eine zusammengesetzte indirekte Wirksamkeit, die durch die Zunahme der durch höhere Temperaturen geförderten intensiveren Bodenprozesse und der Bodenatmosphären mit konzentrierterem $p\text{ CO}_2$ -Index, sowie des in der Zeiteinheit erfolgten Stoffumsatzes (Lösungsintensität) zur Geltung kommt. Das heisst, die Tatsache, dass z. B. das warme Regenwasser (wegen seiner höheren Temperatur) weniger CO_2 -Gas zu absorbieren vermag, als z. B. das kalte Schmelzwasser der Polargebiete, wird vielfach dadurch ausgeglichen und unterliegt dem Umstand, dass gleichzeitig wegen der höheren Temperatur in den Tropen einerseits der *Lösungsprozess rascher ist*, andererseits durch die intensiven anorganischen und biogenetischen Bodenprozesse *die Kohlendioxidproduktion vielfach stärker ist*, das heisst, im letzten komplexen Ergebnis werden hier die Möglichkeiten zur hohen Sättigung des Wassers mit CO_2 doch viel günstiger sein.

Und damit sind wir in der Diskussion auf internationaler Ebene, die nach

den berühmten Stellungnahmen von CORBEL (1959) entstanden ist, bereits zur Möglichkeit einer grundlegend einsinnigen Stellungnahme gekommen: nicht CORBEL, sondern H. LEHMANN und die seinen Spuren nachfolgenden klimatischen Geomorphologen haben recht, die im Klimafaktor nicht nur die Differenzen in der Gössenordnung von Temperatur und Niederschlag erkennen, sondern im echten Sinne von Dokutschaew mit jeder durch die klimatische Zonalität erfolgten geomorphologischen, pedologischen, biologischen, hydrologischen, chemischen usw. Wirkungsseiten, ja sogar mit deren gleichzeitigen Komplexität rechnen können (L. JAKUCS 1970).

Bisher haben wir von den Grad des Absorptionsvermögens im Wasser des Kohlendioxids der Atmosphäre bzw. der Bodenluft regelnden Faktoren die Rolle des Partialdrucks des Gases und die der Temperatur untersucht. Die Analyse des Druckfaktors und des Zeitfaktors ist also noch übriggeblieben.

Die Tatsache, dass bei Zunahme des Druckes die Absorptionsfähigkeit des Wassers für CO_2 steigt, ist nicht besonders zu beweisen. Es genügt, auf das an der liegenden Selterwasser zu verweisen, und die Aussage gewinnt sofort eine veranschaulichte experimentelle Bestätigung. Um so weniger ist es dagegen bekannt, dass *das periodische Niederschlagsfallen* die Entwicklungsmöglichkeit des Druckfaktors von den physischen Karstrealitäten dadurch gewährleistet, dass es in die Lithoklasen des Kalkgesteins je nach dem Ausmass der oberflächlichen Wassernachschuss oder je nach dessen Mangel entweder Wasser oder Bodenluft aus den Karstböden zugeführt wird.

Bei stark niederschlagsreichem Wetter werden die Klüfte des Kalkgesteins mit Wasser erfüllt. Als aber diese durch Gravitation nach der Tiefe dringenden Wasserteilchen in einer trockeneren Periode keinen fortlaufenden Nachschub von oben her mehr bekommen können, hört die Kontinuität der Wasserfäden auf, ein gewisses schwaches Vakuum entsteht und so wird die Bodenluft in das Kluftnetz sozusagen eingesaugt.

Bei neuem Regenfall kommt natürlich wieder Wasser zu den gegen den Boden hin gelegenen „Eingängen“ des Lithoklasennetzes, und es schiebt nun das dort gefundene Gasgemisch immer tiefer vor sich hin.

In den kleinen Rissen, wo bereits die Kräfte des Strebens nach der Anordnung je nach dem spezifischen Gewicht durch die Gesetze der Adhäsion und der Kapillarität überwunden werden, wandern so abwechselnd gasförmige und flüssige Phasen nach unten, irgendwie dem ähnlich, wie das in den Thermometern mit unterbrochenem Quecksilberfaden zu sehen ist.

Gewisse hydrostatische Druckmodifikationen wirken sich schon auch in dieser Periode auf das Wasser-Gassystem-Gleichgewicht aus, denn wenn es im Kluftsystem nicht gerade die sich aus den Komponenten der Gravitation und der Adhäsion ergebenden Druckverstellungen vorhanden wären, könnte das Wasser nicht weiter in die Tiefe vordringen. Diese Druckmodifikationen sind aber noch nicht so bedeutsam, dass sie das im Boden hergestellte Phasengleichgewicht zwischen Wasser und Kohlendioxid wesentlich modifizieren sollten. Früher oder später erreicht aber das Wasser ein Niveau, wo keinen freien, leeren Weg mehr in die Tiefe gibt; entweder weil das Liegende eine wasserstauende Schicht ist und deshalb kein Kluftnetz besitzt, oder aber weil das Kluftnetz bereits mit Wasser erfüllt ist. Das hierher gelangte Wasser staut sich also an, überlagert sich und sucht sich mit den mitgeführten Luftblasen zusammen zwangsmässig eine Abflussmöglichkeit in seitlicher Richtung.

Das geht aber nicht so leicht, denn die Risse, die jetzt das bis zum Karstniveau in einem räumlichen (dreidimensionalen) Netzwerk gelangte Wasser in hori-

zontalen Richtungen, also flächenhaft oder linear führen sollten, sind zu Beginn der Karstreife durchaus nicht entwickelter, geräumiger, als das senkrechte Lithoklassensystem ist. Die Wassereinheiten (und zwischen ihnen auch die kleinen Gasräume) kommen notwendigerweise in eine Zone mit stark steigendem hydrostatischem Druck, wobei der Druckwert um so mehr höher wird, je ausgiebiger von oben her der neuere Wassernachschub kommt und je weniger Abflussmöglichkeit nach der Seite besteht. Das heisst, im Karstinnern entwickelt sich eine unter Druck stehende, strömende Karstwasserzone (L. JAKUCS 1960, 1968/1-2), in der das Wasser mit neueren gelösten Kohlendioxidmengen angereichert wird, da sich der Druck auch auf das Gasgemisch auswirkt, das er jetzt in die Lösung sozusagen hineinpresst.

In dieser Zone, wo also die die Wasserwegsamkeit gewährenden Gesteinsklüfte und Räume mit Wasser erfüllt sind, kann ein Druck von mehreren Atmosphären auftreten (bergmännische Erfahrungen!). Besonders bedeutsam ist der Druck *im unteren Niveau der waagrecht beweglichen Karstwasserzone*. Nach unseren Beobachtungen kann er hier nicht selten – insbesondere in den jungen Karsten – sogar Werte von 10 Atmosphären überschreiten.

Auf die Frage werden wir später zurückgreifen, aber im Zusammenhang mit der Grössenordnung und dem Wirkungsbereich der Rolle des Druckes müssen wir bereits an dieser Stelle bemerken, dass er wesentlich durch gewisse Modifikation der Formel Nr. 3 konkretisiert wird. Nach dem klassischen Gesetz von BOYLE-MARIOTTE sind nämlich die bei unterschiedlichem Druck gemessenen Volumina einer bestimmten Gasmenge zu den betreffenden Drücken umgekehrt proportional. Die in der Gleichung 3 angegebene 1,9634 Multiplikationszahl ist also kein konstanter Wert, sondern nur eine bei 1 atm. Druck gültige Zahl, die bei einem auf das Gasvolumen wirkenden 2 atm. Druck auf das Zweifache, bei einem Druck von 10 atm. auf das Zehnfache usw. zu erhöhen ist, denn auch das Gasgewicht hat ja infolge der Zusammenpressung ebensoviel mal zugenommen.

Auf diese Weise sollte also, den Fall vorausgesetzt, dass der p_{CO_2} -Wert unverändert bleibt, d. h. die Zusammensetzung des Gasgemisches gleichmässig beibehalten wird, in einem Gasgemisch-Wasser-System mit 5 atm Druck und 0,002 p_{CO_2} -Druck bei 10 °C Temperatur die im Wasser absorbierte CO_2 -Gesamtgasmenge von dem in Tabelle 3 angegebenen 4,69 mg/l Wert auf $(1, 194 \cdot 0,002 \cdot 5 \cdot 1,9634 =)$ 23,45 mg/l Wert erhöhen. Und da diese Zahl genau das Fünffache der in der Luft mit 1 atm Druck gelösten CO_2 -Menge ausmacht, so kann man aussagen, dass die *CO_2 -Lösungsfähigkeit des Wassers* bis zu einem gewissen Grenzwert unter Druckwirkung je nach dem Produkt aus Atmosphärenzahl und Lösungsfreudigkeit bei 1 atm Druck zunimmt (HENRYsches Gesetz).

Man darf aber einen sehr wichtigen Faktor nicht unbeachtet lassen, der insbesondere unter Karstverhältnissen die Gültigkeit der vorstehenden Aussage stark modifiziert. Nämlich das, dass sich *infolge der Druckwirkung in einem geschlossenen System mit zwei Bestandteilen (im Innern des Karstes) die Zusammensetzung des ursprünglichen Gasvolumens verändert*, und zwar so, dass je grösser der Druck wird, desto geringer wird der Partialdruck des CO_2 -Gasvolumens. Das steht damit im Zusammenhang, dass der Absorptionskoeffizient (L) der verschiedenen Gase unterschiedlich ist. Er ist für die im Luftraum die wichtigste Rolle spielenden Gase geringer (für den Sauerstoff bei 20 °C 0,031; für den Stickstoff bei 20 °C, 0,015), als für das CO_2 (bei 20 °C 0,0878).

Die erörterte Tatsache gibt also zur Folge, dass das Kohlendioxid im Laufe des steigenden Druckes aus einem Gassystem heterogener Zusammensetzung rasch entweicht und die höheren Druckwerte praktisch schon wirkungslos werden, um

den CO_2 -Gesamtgehalt der Lösung weiter zu erhöhen. Deshalb sind wir der Meinung, dass vom Gesichtspunkt der Lösungspotenzerhöhung des Karstwassers aus die Druckerhöhung um eine geringere Atmosphärenzahl (von 1 bis 10) eine wesentliche Rolle spielt, und in der Nähe der auf die Tiefkarstwasser wirksamen, häufig sogar 100 atm annähernden oder überschreitenden hydrostatischen Druckwerte die in der direkten Löslichkeitszunahme auftretende Folge der Druckerhöhung je Einheit verhältnismässig viel geringer ist.

Aufgrund der unterschiedlichen Absorptionskoeffizienten der erwähnten drei Gase ist es verständlich, dass sich das ursprüngliche Gasgemisch in seiner Zusammensetzung schliesslich verstellt, und bei ganz hohem Druck schon nahezu ausschliesslich aus dem am schwersten löslichen Stickstoff besteht. (Deshalb hat der Stickstoff in der Zusammensetzung der Gasblasen, die mit dem Wasser der aus grosser Tiefe aufbrechenden Karstquellen zusammen an die Oberfläche treten, immer das Übergewicht, wie z. B. in Miskolc-Tapolca, in den lauen Quellen von Buda usw.).

Wir können also nachdrücklich feststellen, dass die Tatsache der erheblichen Zunahme des gelösten CO_2 infolge der Erhöhung des hydrostatischen Druckes hinsichtlich der Entwicklung des Karstes sehr bedeutsam ist, denn das Wasser bezeichnet etwa durch seine sekundäre Aggressivität sogar die Lage des tiefreichenden Karstkorrosionsniveaus (das embryonale Höhlenbildungsniveau).

Es ist plausibel, dass beim späteren Aufhören des Druckes, als das Wasser also in einen geräumigeren Hohlraum oder gar an die Oberfläche kommt, die in der Druckzone in ihm eingepressten Gase entweichen, und das bringt auch das Aufhören der erwähnten sekundären hydrokarbonatischen Lösungsfreudigkeitszunahme mit sich.

Das Wasser aber wird an diesen Stellen in der Regel nicht nur von der hydrostatischen Spannung frei gesetzt, sondern es kommt gleichzeitig auch in eine Umgebung mit einem im Vergleich zur Versickerungsbodenzone viel niedrigeren $p \text{ CO}_2$ -Druck. So wird in dem den $p \text{ CO}_2$ -Differenzen der beiden Lufträume entsprechenden Masse weiteres CO_2 aus dem Wasser entfernt, bis sich das neue Gleichgewicht nach der durch die $p \text{ CO}_2$ -Verhältnisse (und Temperatur) des neuen Luftraumes bestimmten Gleichung einstellt.

In der Fachliteratur finden wir die Rolle des Druckes auch vom anderen Gesichtspunkt aus bewertet vor. So haben von den ungarischen Autoren vor allem DUDICH (1932), CHOLNOKY (1940) und KESSLER (1938) die Bedeutung der Veränderungen der Oberflächenspannung des Wassers schon früh hervorgehoben. Es handelt sich hier um die infolge der Oberflächenspannung auftretende Ziehkraft, an der äusseren Oberfläche des aus der Gesteinsspalte zur Höhlendecke vordringenden Wassertropfens, sowie um die an den konvexen Hängen ab rinnenden und in den Wasserfällen zerstäubten Karstwasser betreffenden Abnahmen der Oberflächenspannung, die die Diffusion der überschüssigen Menge CO_2 in den Luftraum in jedem Falle erleichtern, vor allem aber sie beschleunigen.

Und damit haben wir schon den vierten Determinanten der CO_2 -Absorption, den Zeitfaktor angeschnitten, der für das Zustandekommen des Gleichgewichts zwischen dem gelösten CO_2 und dem in dem mit ihm in Berührung stehenden Gasvolumen vorhandenen CO_2 gleichfalls ein sehr wichtiger Faktor ist. Das heisst, die Entwicklung des Gleichgewichts nach der Gleichung 3 geht im Verlaufe der Zeit vor sich.

Um zu wissen, wieviel Zeit die Entwicklung des Gleichgewichts in gegebenem Falle benötigt, das könnten wir durch eine Zwangsformel zwar ausdrücken, in

der Praxis aber heute noch nicht richtig berechnen. Die zum Erreichen des Gleichgewichts notwendige Zeit könnte nämlich mit Hilfe des komplexen Resultats von zahlreichen auch in sich veränderlichen Voraussetzungen bestimmt werden, aber es fehlt noch in manchen Fällen sogar die präzise mathematische Formulierung dieser Teilbedingungen.

Von den wichtigsten auf den Zeitfaktor einwirkenden Determinanten heben wir im folgenden nur einige hervor, um die Gesagten einigermaßen zu illustrieren.

Je grösser die Kontaktfläche der Flüssigkeit und des Gasvolumens ist, desto schneller verläuft der Prozess. Aber auch die Erhöhung der Temperatur beschleunigt die Reaktion. Die Ablaufszeit wird ebenso verkürzt, wenn sich der berührende Gasraum in turbulenter Bewegung befindet. Wenn eine solche turbulente Mischungsbewegung im Flüssigkeitsraum auftritt, nimmt dadurch die Reaktionsgeschwindigkeit weiter zu. Die im Reaktionsraum befindlichen qualitativ und quantitativ unterschiedlichen Absorptionsflächen (z. B. mineralische und organische Bodenkörnchen) fördern oder hemmen je nach ihren Eigenarten die Absorption. Anders wird die Lösungsgeschwindigkeit, wenn das Wasser mit dem Kalkstein nicht in Berührung steht, oder wenn wegen des Bestehens eines solchen Kontaktes auch die Hydrokarbonatbildung bereits im Synchron mit der Gasabsorption einsetzen kann. Und wir könnten noch die modifizierenden Faktoren weiter aufzählen.

Mit aller Gewissheit kommen wir der Wahrheit nahe, wenn wir annehmen, dass dieses Problem eine der kompliziertesten Frage der Korrosionsdeutung ist. Und doch, trotz jeder Kompliziertheit ist es zunächst eine Schlüsselfrage der klimatisch-karstmorphogenetischen Analysen, das ein grundlegender Modulator der Kalklösungsdynamik ist.

Bisher haben wir die Lösung des CO_2 -Gases nur bei den Gegebenheiten der flüssigen und gasförmigen Phase untersucht, das heisst ohne die feste Phase (in unserem Fall das Kalkgestein). Im weiteren gehen wir auf die Analyse der folgenden komplizierteren Stufe des Lösungsvorganges ein, wobei alle drei Phasen gleichzeitig vorhanden sind.

Es ist verständlich, dass mit dem Einsatz dieses neuen Faktors die Gleichgewichtsbeziehungen und Wechselwirkungen noch vielseitiger werden, als im Falle, wobei wir nur das Doppelsystem von Wasser und CO_2 -Gas untersuchten. Die Fragestellung ist um so mehrschichtiger, als hierbei nicht mehr nur um ein einfaches Lösungsgeschehen oder Dissoziation handelt, sondern um das Schicksal der chemischen Umsetzungen, die mit den Gleichgewichten der Dissoziations- und anderen physikalischen Lösungen in engem Zusammenhang der Vorbedingungen stehen.

Ein Teil des im Wasser absorbierten Kohlendioxid-Gehaltes, und zwar nach den literarischen Angaben bei 4°C 0,7% (HOLLUTA 1927, PIA 1953), wird nach der wohl bekannten klassischen Formel in Kohlensäure umgewandelt:



Die Kohlensäure, wenn CaCO_3 in ihrem Wirkungsbereich auftritt, setzt durch die Bildung von Kalziumhydrokarbonat eine chemische Reaktion in Gang, und dadurch löst sie den Stoff des Kalkgesteins auf:



Aus dem physikalisch absorbierten CO_2 -Anteil der Lösung (bis es ausreicht)

wird natürlich die an das Kalzium gebundene und so etwa verbrauchte Kohlensäure ersetzt, so dass sich praktisch nahezu die ganze gelöste CO_2 -Menge am Kalklösungsvorgang beteiligt.

Nach den Berechnungen von TILLMANS und HEUBLEIN (TILLMANS 1932, 1940) wird die Gleichung 5 um so stärker in der Richtung des oberen Pfeils konkretisiert, je geringer die Kohlensäurekonzentration ist. So geht in dünnen Lösungen (z. B. bei 10–15 mg/l gelöster CO_2 -Menge) die Reaktion nahezu vollständig nach dem oberen Pfeil vor sich, dagegen in dichteren Lösungen bereits nur bis zu einem gewissen Anteil des absorbierten CO_2 -Gesamtverrats, da im Falle von grösserer Ionenkonzentration die Anwesenheit der mit der Kompaktheit sukzessiv zunehmende Menge der sog. zugehörigen oder freien Gleichgewichtskohlensäure nötig ist, um das aufgelöste Hydrokarbonat in Lösung zu halten.

In Abbildung 2 werden die das Lösungsgeschehen von $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ steuernden wichtigsten Wechselwirkungen zwischen Verbindung und Gleichgewicht dargestellt.

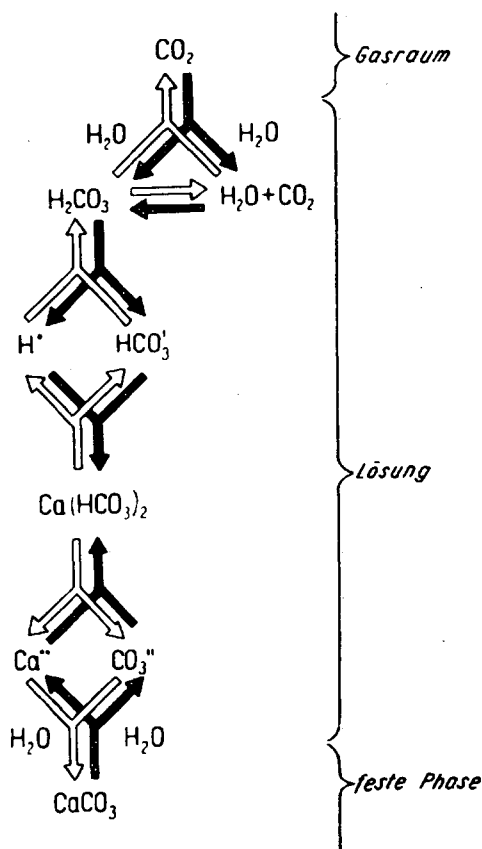


Abb. 2. Die wichtigsten chemisch bedingten Komponenten der hydrokarbonatischen Lösungsreaktion des Kalkgesteins. Die Gleichgewichtsverschiebungen nach den schwarzen Pfeilen ergeben Kalklösung, die nach den weissen Pfeilen Kalkausscheidung. Gleichzeitig kann sich die Gleichgewichtsverschiebung des Systems entweder nur nach den schwarzen oder nur nach den weissen Pfeilen bewegen.

Übrigens vermag jede mg-Menge des gelösten CO_2 -Gehalts im Wasser 2,2723 mg CaCO_3 auflösen, und zwar von der Temperatur des Systems unabhängig. Danach kann also bei geringeren Konzentrationswerten, wobei praktisch noch nicht mit der notwendigen freien Gleichgewichtskohlensäure gerechnet werden muss, kann in Kenntnis des gelösten CO_2 -Anteils ohne weiteres die Kalklösungsfähigkeit des Wassers berechnet werden. So ermöglicht z. B. die 0,70 mg/l gelöste CO_2 -Menge des durch die p CO_2 -Werte (0,0003) der normal zusammengesetzten Luft gesättigten Wassers bei 10 °C (ohne weiter Menge CO_2 -Gases in Lösung zu bringen) die hydrokarbonatische Lösung von $2,2723 \cdot 0,7 = 1,59$ mg Kalkstein.

Natürlich kann eine Lösung mit so geringem Kalkgehalt in Anwesenheit der festen Phase sogar unter laboratorischen Bedingungen nicht vorkommen, nachdem die Lösung bereits notwendigerweise auch die im Laufe der nach Gleichung 1 primären karbonatischen Lösung erhaltene Kalkmenge von etwa 13 mg/l enthält. Wir verweisen ferner auf den Umstand, dass in den natürlichen Grundwässern neben dem Kohlendioxid auch Sauerstoff absorbiert ist, der im Laufe der im Boden vonstatten gehenden bakteriellen und anorganischen Vorgänge verbraucht im meisten Falle den CO_2 -Gehalt im Wasser gleichfalls erhöht (TUCAN 1933, CHRAMUSEW 1941, VENKOVITS 1949, STEFANOVITS 1956).

Bei stärkeren Konzentrationen ist die Löslichkeitsfrage um so viel komplizierter, dass man bei der Hydrokarbonat-Reaktion mit dem vollständigen Kohlendioxid-Vorrat nicht rechnen kann, denn auch die notwendige freie Gleichgewichtskohlensäure berücksichtigt werden muss. Es sei doch bemerkt, dass die Menge dieser zugehörigen freien Kohlensäure nicht mehr nur von dem Volumen des gelösten Kalkes, sondern auch von der Temperatur des Wirkungsmittels abhängig ist.

Im Sinne der oben Gesagten ist also das absorbierte Kohlendioxid – in Anwesenheit von CaCO_3 – in der wässrigen Lösung in den folgenden Formen aufzufinden:

1. In der Form des an Kalzium gebundenen *Hydrokarbonats*.
2. In der Form der *zugehörigen oder freien Gleichgewichtskohlensäure*, die notwendig ist, um das Hydrokarbonat in Lösung zu halten, sowie
3. In der Form der die zum Gleichgewicht beanspruchten Menge an Hydrokarbonat eventuell überschrittenen: *aggressiven Kohlensäure*. Die letztere freie Kohlensäure wurde nach ihrer Korrosionsbereitschaft benannt, da sie, durch die vorhandenen Lösungsgleichgewichte nicht überlastet, die weitere Kalklösung des Wassers ermöglicht.

Im Besitz der Kenntnis von quantitativen Lösungsverhältnissen dieser, ihrer Funktion nach dreierlei Kohlensäuren ist zu beurteilen, ob das gegebene Wasser zur weiteren Korrosion fähig ist oder sich im Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht befindet, bzw. die Lösung eventuell gerade übersättigt und so in ihrer chemischen Tendenz kalkablagernd ist.

In der internationalen chemischen und hydrologischen Literatur waren früher nur die auf die freie Gleichgewichtskohlensäure der Wässer mit 17 °C Temperatur bezogenen Indizes vorzufinden (TILLMANS 1932, LAPTEW 1939, TROMBE 1951, 1952, BÖGLI 1960 usw.). SZ. PAPP (1954, 1956) hat deshalb den zugehörigen Kohlensäuregehalt der im Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht befindlichen Wässer für jede wichtigere Konzentration und Temperatur berechnet. Unsere nach seiner Arbeit zusammengestellte Tabelle 4 stellt die in der Karstforschung am meisten benötigten Werte dar.

Aufgrund der Tabelle kann auch die Grössenordnung der löslichkeitsregelnden Funktion der Temperaturveränderungen beurteilt werden, da das Wasser mit unverändertem CO_2 -Gesamtgehalt bei höherer Temperatur eine geringere Menge

Kalk in Lösung zu halten vermag, nachdem die das Kalziumhydrokarbonat in Lösung zu halten notwendige freie CO_2 -eq. Menge zunimmt. Wenn z. B. der CO_2 -Gesamtgehalt des im Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht befindlichen Wassers bei 5° C Temperatur 957 mg/l beträgt (davon entfällt 330 mg auf das gebundene CO_2 , und 627 mg/l auf die zugehörige Kohlensäure), so hält er einem Betrag von 749,7 mg/l festem CaCO_3 entsprechendes $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ in Lösung. Wenn nun aber die Temperatur dieses Wassers auf 14° C erhöht wird, nimmt seine Kalklösungsfähigkeit trotz gleichbleibender Kohlensäure-Gesamtmenge ab, das heisst, die Lösung wird übersättigt. In unserem Fall wird nämlich der 957 mg/l CO_2 -Gesamtgehalt so verteilt, dass 306,2 mg davon dem gebundenen CO_2 und 650,8 mg dem CO_2 eq. zukommt, und dementsprechend kann die durch das Wasser in Lösung zu haltende CaCO_3 -Menge nicht über 696,1 mg/l betragen. So scheidet aus jedem Liter Wasser $749,7 - 696,1 = 53,6$ mg CaCO_3 aus.

TABELLE 4.

Beanspruchungen von gebundenem und zugehörigem CO_2 durch die hydrokarbonatische Lösung des Kalkgesteins

CaCO ₃ mg/l	gebundenes CO ₂	zugehöriges CO ₂ mg/l bei folgenden Wärmegraden							
		5° C	7° C	9° C	10° C	11° C	12° C	15° C	20° C
8,92	3,85	—	—	—	—	—	—	—	—
17,85	7,70	—	—	—	—	—	0,01	0,01	0,01
26,77	11,5	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05
35,70	15,6	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,09	0,10
44,52	19,4	0,14	0,15	0,16	0,17	0,17	0,18	0,19	0,23
53,55	23,5	0,23	0,24	0,26	0,26	0,27	0,28	0,30	0,35
62,47	27,3	0,38	0,41	0,44	0,45	0,46	0,48	0,51	0,59
71,40	31,5	0,54	0,58	0,61	0,63	0,65	0,67	0,73	0,84
80,32	35,3	0,79	0,84	0,89	0,92	0,95	0,97	1,06	1,23
89,25	39,2	1,06	1,11	1,18	1,21	1,25	1,28	1,40	1,62
98,17	43,0	1,39	1,52	1,61	1,65	1,71	1,75	1,91	2,21
107,1	47,1	1,82	1,93	2,04	2,10	2,17	2,23	2,43	2,81
116,0	50,9	2,27	2,50	2,65	2,73	2,81	2,89	3,15	3,64
124,8	55,0	2,90	3,08	3,26	3,26	3,45	3,56	3,88	4,48
133,8	58,8	3,60	3,82	4,04	4,16	4,28	4,41	4,81	5,56
142,8	62,7	4,30	4,56	4,89	4,97	5,12	5,27	5,57	6,64
151,7	66,5	5,22	5,53	5,86	6,03	6,21	6,40	7,48	8,06
160,6	70,6	6,14	6,51	6,90	7,10	7,31	7,53	8,21	9,49
169,6	74,4	7,29	7,73	8,19	8,43	8,70	8,96	9,75	11,2
178,5	78,5	8,45	8,96	9,49	9,77	10,1	10,4	11,3	13,1
187,4	82,5	9,92	10,4	11,0	11,3	11,7	12,1	13,2	15,2
196,3	86,5	11,4	11,9	12,7	13,0	13,4	13,8	15,1	17,4
205,3	90,4	13,0	13,6	14,5	14,9	15,3	15,8	17,9	19,9
214,2	94,2	14,6	15,4	16,4	16,8	17,3	17,8	19,5	22,5
223,1	98,1	16,6	17,5	18,6	19,1	19,7	20,2	22,1	25,6
232,0	102,1	18,6	19,7	20,8	21,5	22,1	22,7	24,6	28,7
241,0	106,0	20,9	22,1	23,4	24,1	24,8	25,5	27,9	32,3
249,9	110,0	23,2	24,6	26,1	26,8	27,6	28,4	31,0	35,9
258,8	113,9	25,9	27,4	29,1	29,9	30,3	31,7	34,6	40,0
267,7	117,9	28,6	30,3	32,1	33,0	34,0	35,0	38,2	44,2
276,7	121,8	31,6	33,4	35,4	36,5	37,5	38,6	42,2	48,8
285,6	125,6	34,6	36,6	38,8	40,0	41,1	42,3	46,2	53,4
294,5	129,5	38,0	40,3	42,7	44,0	45,2	46,5	50,3	58,7
303,3	133,5	41,5	44,0	46,6	48,0	49,4	50,8	55,5	64,1
312,3	137,4	45,4	48,1	51,0	52,5	54,0	55,6	60,7	70,1
321,3	141,4	49,3	52,3	55,4	57,0	58,7	60,4	65,9	76,2
330,2	145,3	53,5	56,8	60,1	61,9	63,7	65,6	71,6	82,8
339,1	149,2	57,8	61,3	64,9	66,8	68,8	70,8	77,3	89,4

CaCO ₃ mg/l	gebun- denes CO ₂	zugehöriges CO ₂ mg/l bei folgenden Wärmegraden							
		5 °C	7 °C	9 °C	10 °C	11 °C	12 °C	15 °C	20 °C
348,0	153,1	62,6	66,4	70,3	72,4	74,5	76,7	83,7	96,9
357,0	157,1	67,5	71,5	75,8	78,0	80,3	82,7	90,2	104,3
365,9	161,0	72,9	77,2	81,9	84,3	86,7	89,3	97,5	112,7
374,8	165,0	78,4	83,0	88,0	90,6	93,2	96,0	104,8	121,1
383,8	168,9	84,3	89,2	94,6	97,4	100,2	103,2	112,6	130,2
392,7	173,5	90,2	95,5	101,3	104,3	107,3	110,5	120,5	139,3
401,6	176,9	96,5	102,2	108,3	112,5	114,8	118,2	128,9	149,0
410,5	180,7	102,8	108,9	115,4	118,8	122,3	125,9	137,4	158,8
419,5	184,6	109,8	116,3	123,3	126,9	130,7	134,5	146,8	169,7
428,4	188,5	116,8	123,8	131,2	135,1	139,1	143,2	156,2	180,6
437,3	192,4	124,5	131,9	139,8	143,9	148,2	152,5	166,8	192,4
446,2	196,4	132,2	140,1	148,4	152,8	157,3	161,9	176,6	204,2
455,2	200,3	140,3	148,7	157,6	162,2	167,0	171,9	187,5	215,8
464,1	204,2	148,5	157,4	166,8	171,7	176,8	182,0	198,5	229,5
473,0	208,1	159,0	166,9	176,8	182,0	187,4	192,9	210,5	243,3
481,9	212,1	166,5	176,4	186,9	192,4	198,1	203,9	222,5	257,2
490,8	216,0	176,1	186,6	197,7	203,6	209,6	215,7	235,4	272,1
499,8	220,0	185,7	196,8	208,6	214,8	221,1	227,6	248,3	287,0
508,7	223,9	196,1	207,8	220,2	226,7	233,4	240,3	262,1	303,0
517,6	227,9	206,5	218,8	231,9	238,7	245,8	253,0	276,0	319,1
526,6	231,8	217,3	229,7	244,0	251,2	258,6	266,2	290,4	335,8
535,5	235,7	228,1	241,8	256,2	263,8	271,5	279,5	304,9	353,5
544,4	239,6	239,0	253,9	269,9	278,2	286,9	295,9	322,9	372,4
553,4	243,3	251,9	266,9	282,9	291,2	299,8	307,9	336,6	389,2
562,3	247,2	265,5	281,0	297,5	306,6	315,6	324,6	354,6	406,0
571,2	251,2	276,5	293,0	310,5	319,6	329,1	338,0	369,5	427,2
580,1	255,1	288,5	305,5	323,5	333,6	343,7	353,6	385,6	448,4
589,0	259,2	300,3	321,5	340,7	350,7	361,0	370,8	405,4	468,7
597,9	263,1	311,9	331,8	352,8	363,8	375,1	385,8	421,8	489,0
606,9	267,1	323,9	345,8	367,8	379,8	391,9	403,8	441,8	510,0
615,8	271,0	336,8	360,5	384,5	397,5	410,5	423,5	463,5	531,0
624,7	275,0	350,8	376,0	401,5	415,5	429,5	443,5	489,5	552,0
633,6	279,0	365,8	392,0	419,5	434,5	449,5	464,5	514,5	573,0
642,6	282,7	381,1	408,7	438,5	454,5	470,5	486,5	538,5	594,0
651,5	286,7	397,1	426,7	458,5	475,5	492,5	509,5	563,5	615,0
660,3	290,6	413,1	445,7	480,7	498,7	516,7	534,7	590,7	636,0
669,2	294,5	429,1	464,7	501,7	520,7	539,7	558,7	616,7	657,0
678,1	298,5	446,1	484,7	523,7	543,7	563,7	583,7	641,7	678,0
687,0	302,4	463,1	505,7	546,7	567,7	588,7	609,7	669,7	699,0
695,9	306,2	480,1	527,7	570,7	592,7	614,7	636,7	698,7	720,0
704,8	310,1	497,1	549,7	595,7	618,7	641,7	664,7	728,7	741,0
713,7	314,1	514,1	572,7	621,7	645,7	669,7	693,7	754,7	767,0
722,6	318,0	531,1	596,7	648,7	673,7	698,7	723,7	782,7	798,0
731,5	322,0	549,1	619,7	676,7	702,7	728,7	754,7	814,7	829,0
740,4	326,0	567,1	643,7	704,7	731,7	758,7	785,7	847,7	862,0
749,3	330,0	585,1	668,7	733,7	761,7	789,7	817,7	881,7	896,0
758,2	334,0	603,1	694,7	763,7	792,7	821,7	850,7	916,7	931,0
767,1	337,7	621,1	720,7	792,7	822,7	852,7	883,7	950,7	965,0
776,0	341,5	639,1	747,7	821,7	853,7	884,7	916,7	984,7	999,0
784,9	345,6	657,1	774,7	851,7	884,7	917,7	950,7	1020,7	1035,0
793,8	349,5	675,1	802,7	881,7	915,7	949,7	983,7	1054,7	1069,0
802,7	353,5	693,1	830,7	911,7	941,7	976,7	1011,7	1081,7	1094,0
811,6	357,4	711,1	859,7	941,7	973,7	1009,7	1045,7	1117,7	1132,0
820,5	361,2	729,1	888,7	971,7	1001,7	1038,7	1075,7	1149,7	1167,0
829,4	365,1	747,1	918,7	1001,7	1034,7	1072,7	1110,7	1182,7	1192,0
838,3	369,1	765,1	949,7	1031,7	1064,7	1102,7	1140,7	1216,7	1217,0
847,2	373,0	783,1	980,7	1062,7	1100,7	1139,7	1179,7	1251,7	1242,0
856,1	377,0	801,1	1012,7	1094,7	1133,7	1174,7	1216,7	1287,7	1267,0
865,0	381,0	819,1	1045,7	1127,7	1168,7	1211,7	1254,7	1324,7	1292,0
873,9	385,0	837,1	1079,7	1161,7	1204,7	1248,7	1293,7	1362,7	1317,0
882,8	389,0	855,1	1112,7	1196,7	1239,7	1285,7	1332,7	1401,7	1342,0
891,7	392,7	873,1	1146,7	1231,7	1276,7	1324,7	1373,7	1441,7	1367,0

Mit Hilfe der von den Werten der Tabelle 4 zusammengestellte komplexe graphische Darstellung (Abb. 3) können die vorstehenden Zusammenhänge auch veranschaulicht gemacht werden. Von diesem Diagramm, dessen Abszisse dem Eintragen der im Wasser vorhandenen CO₂-Gesamt mengen, während dessen Ordinate dem Eintragen der aufgelösten Kalkmengen im mg/l Einheit dient, kann der chemische Charakter des geprüften Wassers sogleich abgelesen werden, wenn die vorangehend bestimmte CO₂-Gesamtmenge bzw. der gelöste CaCO₃-Gehalt in das System projiziert wird.

Wenn z. B. die CO₂-Gesamtmenge 250 mg/l beträgt und die Menge des gelösten CaCO₃ 450 mg/l ausmacht (in dieser Situation bezeichnet der Punkt A₁ die Stelle unseres Wassers im Diagramm), so ist sogleich ersichtlich, dass das Wasser stark übersättigt ist, also CaCO₃ wird daraus ausscheiden. Wenn dagegen

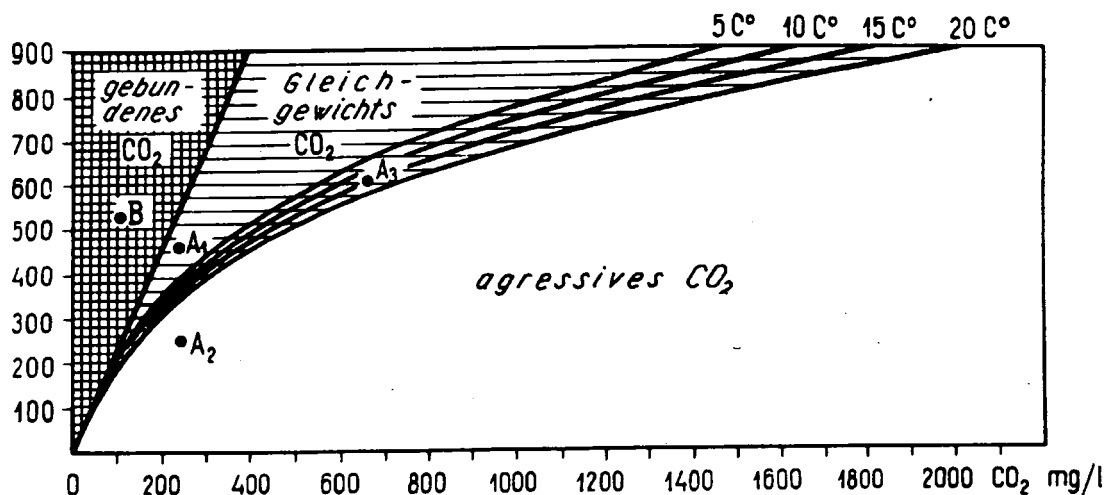


Abb. 3. Gebundene Kohlensäure-Mengen und freie Gleichgewichtskohlensäure-Mengen der im Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht befindlichen Wässer bei 5, 10, 15 und 20 °C Temperaturen

seine gelöste Kalksubstanz nur 250 mg CaCO₃ im Liter entspricht, so ist das Wasser stark aggressiv, denn jetzt kommt seine Stelle in das Untersättigungsfeld (Situation A₂). Zu gleicher Zeit wird ein anderes Wasser, das aufgrund seiner Analysenwerte durch den Punkt A₁ definiert wird und sich merklich bei 12° C im Gleichgewicht befindet, unter diese Temperatur abgekühlt aggressiv, bei erhöhtem Wärmegrad dagegen übersättigt.

Es kann natürlich keine Wasserprobe geben, deren Koordinaten einen Punkt (z. B. B.) im Feld des gebundenen CO₂ bezeichnen würden.

Es sei hier erwähnt, dass die Aggressivität eines Wassers nicht in jedem Falle sogleich unbedingt zur Kalklösung führt, denn wenn es nämlich zur Verdunstung des Kohlendioxids die Möglichkeit gibt, wird das Gleichgewicht den neuen Bedingungen entsprechend auch auf diesem Wege wiederhergestellt.

Dass im gegebenen Fall welcher Weg durch die Gleichgewichtstendenz gewählt wird, das hängt von der Durchsetzung zahlreicher komplizierten Bedingungen ab. In einem abgeschlossenen System, wobei keine Möglichkeit für die Verdunstung des CO₂ in den Luftraum gibt, wird das Gleichgewicht jedenfalls durch die zunehmende Korrosion wiederhergestellt. (Deshalb ist so korrosionsgefährlich z. B. bereits eine geringfügige Aggressivität der in geschlossenen Rohrnetzen zirkulierenden Wässer.)

Das Ausmass der Aggressivität von Wässern kann anhand der Tabelle 4 bei Kenntnis der Karbonathärte* und des CO₂-Gesamtgehaltes auch zahlenmässig leicht berechnet werden.

Aber durch die gemeinsame Benutzung der Tabellen 3 und 4 kann die Karstforschung noch weitere – für sie sehr bedeutende – Überlegungen anstellen.

Es kann nämlich das Ausmass des Abtransportes von Kalk errechnet werden, natürlich in Kenntnis der p CO₂-Werte der den Chemismus des Wassers in der Versickerungszone bestimmenden Bodenatmosphäre.

* Die Karbonathärte des Wassers wird durch die Gesamtmenge der in ihm gelösten Kalzium- und Magnesiumhydrokarbonate bestimmt. Unter einem deutschen Härtegrad versteht man 10 mg/l CaO, das mit 17,85 mg/l CaCO₃ äquivalent ist. So enthält z. B. ein Wasser von 22 deutschen Härtegraden, wenn seine Härte nur auf Kalziumsalze zurückzuführen ist, $17,85 \cdot 22 = 392,7$ mg/l hydrokarbonatisch gelöstes CaCO₃.

Für die Verwendung der Tabellen zu solchen Berechnungen sei hier ein konkretes Beispiel vorgeführt:

Im Boden wirkte auf das Wasser eine Luft mit 8/100 CO₂ Partialdruck aus, und durch diese Konzentration im Kontaktgasraum hat sich das Wasser-Kohlensäure-Gleichgewicht eingestellt. Die Bodentemperatur ist im Zeitraum der Versickerung von 5 °C. In diesem Falle enthält das Wasser 224 mg/l gesamte Kohlensäure je Liter (s. Tabelle 3). Das aggressive Wasser leistet eine lösende Arbeit im Kluftnetz des Kalksteins und im Laufe der Absickerung kommt Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht zustande. In diesem Falle erfahren wir die gelöste Kalkmenge von der Tabelle 4 dadurch, wenn wir auf 224 mg/l Kohlendioxidgesamtmenge bezogen suchen, aus welchen gebundenen und freien Gleichgewichtskohlensäurewerten dieser Wert bei 5° zusammengesetzt wird. Die zusammengehörigen gebundenen CO₂-Werte und die CO_{2eq}-Werte bei 5 °C addiert, werden wir eine Summe erhalten, die mehr oder weniger genau den gesuchten 224 mg/l CO₂-Gesamtwerten entspricht. In unserem Falle wird der Betrag des 157,1 mg/l gebundenen Kohlensäurewertes und der dazu gehörigen 65 mg/l zugehörigen CO₂-Werte mit vernachlässigbarer Differenz die gesuchte Zahl annähern. Jetzt muss man nur von der ersten Kolonne der Tabelle 4 die mg/l-Zahl des CaCO₃ ablesen, was im vorliegenden Fall 357 mg entspricht.

Davon haben wir aber bisher nur erfahren, wieviel Kalkstein das Karstwasser unter günstigen Bedingungen aufzulösen vermag. Die Tatsache aber, wieviel es aus der Lösung bei gegebenen Bedingungen, so z. B. in einer Höhle, wieder ablagern kann, können wir nur aufgrund weiterer Berechnungen erfahren.

Wenn z. B. das fragliche Karstwasser in einen Höhlenraum gelangt, dessen Luft unter 2/100 CO₂-Partialdruck steht, und die Temperatur des Höhlenraumes gleichzeitig 10° C ist, stellt sich im Falle des entsprechenden Zeitraumes der dem CO₂-Gehalt der neuen Atmosphäre entsprechende neue Gleichgewichtszustand ein, das heisst, nach Tabelle 3 verbleibt im Liter Wasser nur 46,9 mg/l CO₂-Gesamtmenge (die übrige wird verdunstet). Danach müssen wir mit der bereits bekannten Methode in Tabelle 4 den CaCO₃-Wert aussuchen, der dem Verhältnis

$$(\text{gebundenes CO}_2) + (\text{CO}_{2\text{eq. bei } 10^\circ \text{C}}) = 46,9$$

entspricht. Konkret sieht man, dass das Wasser unter den neuen Gleichgewichtsbedingungen bereits nur ca. 100 mg/l Kalk in Lösung hält. Der Unterschied der beiden Werte (357—100 = 257 mg/l) ist also die gesuchte Menge, die durch das Wasser von einem Punkt zum anderen abtransportiert wurde.

Es muss aber hier bemerkt werden, dass — obwohl man vielfach gute Annäherung erhalten kann, — diese Berechnungen doch nicht immer restlos für reell betrachtet werden können. In der Natur gibt es nämlich einige von uns gegenwärtig noch nicht immer berechenbare Bedingungen, wie z. B. die modifizierenden Wirkungen des Zeitfaktors, der im Wasser gelösten anderen Gase (hauptsächlich des Sauerstoffs), der in der Zerfallzone der organischen Substanzen auftretenden Humus- und Wurzelsäure usw., die sich von Fall zu Fall verändern und mit ihrem nicht geringfügigen Beitrag die Volumina der Kalklösung manchmal erheblich verändern können.

Aus der Tabelle 4 stellt sich anderseitig auch heraus, dass während die hydrokarbonatisch gebundenen CO₂-Mengen je nach der aufgelösten Kalkmenge linear zunehmen, die Zunahme der freien Gleichgewichtskohlensäure von progressivem Charakter ist, das heisst, die sukzessive Erhöhung des gelösten Kalkgehalts kann

nur durch die Gewährleistung der in immer schneller steigender Menge vorhandenen zugehörigen freien Kohlensäure im Gleichgewichtszustand beibehalten werden. Die Beziehung wird durch die Gleichung von TILLMANS erfasst:

$$\text{CO}_{2\text{eq.}} = \frac{(\text{gebundenes CO}_2)^3}{K_1} \dots\dots\dots 6.$$

wo der Faktor K_1 eine zur gegebenen Temperatur gehörige Konstante bezeichnet.

Aus all dem ergibt sich hingegen die Tatsache, dass im Laufe der Mischung von hydrokarbonatischen Gleichgewichtslösungen unterschiedlicher Konzentration (z. B. von natürlichen Grund- und Karstwässern) Kohlendioxid in der Lösung überschüssig wird, das heisst, die Lösung wird aggressiv. Dieser Kohlensäure-Überschuss kann von den gegebenen Umständen abhängig entweder verdunsten, oder zur Auflösung weiterer CaCO_3 -Mengen führen. So kann also ein sekundärer Lösungsvorgang zustande kommen, den wir als *Mischungskorrosion* bezeichnen. Auf ihre Existenz hat uns zuerst LAPTEW (1939) aufmerksam gemacht, aber ihre Rolle in der Verkarstung wurde ausdrücklich nur von BÖGLI (1963) und in Ungarn von ERNST (1964) und BALÁSZ (1966) betont.

Das Ausmass des bei der Mischung von Lösungen auftretenden Reagressivwerdens ist um so grösser, je grösser die Differenz der ursprünglichen Hydrokarbonatkonzentration der sich vermischenden Gleichgewichtslösungskomponenten war. Der Temperaturfaktor spielt in dieser Frage nur eine modifizierende Rolle von geringerer Grössenordnung.

Um die vorstehenden Feststellungen zu bestätigen, werden wir im folgenden einige konkrete Angaben der Tabelle 4 überprüfen!

Unsere Mischungslösungen (A und B) waren vor der Mischung Gleichgewichtslösungen mit folgenden Kennzeichen:

In der Lösung A (9 °C)	hydrokarbonatisch gelöster CaCO_3 -Gehalt	151,7 mg/l
	gebundener CO_2 -Gehalt	66,5 mg/l
	Gehalt an freiem $\text{CO}_{2\text{eq.}}$	5,8 mg/l
In der Lösung B (9 °C)	hydrokarbonatisch gelöster CaCO_3 -Gehalt	508,7 mg/l
	gebundener CO_2 -Gehalt	223,9 mg/l
	Gehalt an freiem $\text{CO}_{2\text{eq.}}$	220,2 mg/l

Wenn wir einfach annehmen, dass sich je ein Liter sowohl der Lösung A, als auch der Lösung B vermischt, dann erhalten wir 2 Liter Lösung C mit folgender Zusammensetzung:

In der Lösung C (9 °C)	hydrokarbonatisch gelöster CaCO_3 -Gehalt	$= \frac{151,7 + 508,7}{2} = 330,2 \text{ mg/l}$
	gebundener CO_2 -Gehalt	$= \frac{66,5 + 223,9}{2} = 145,2 \text{ mg/l}$
	Gehalt an freiem $\text{CO}_{2\text{eq.}}$	$= \frac{5,8 + 220,2}{2} = 113,0 \text{ mg/l}$

Die zu 330,2 mg/l gelöstem CaCO_3 -Gehalt gehörenden adäquaten Kohlensäurewerte der Lösung C in der Tabelle 4 ausgesucht, sehen wir, dass die gebundene Kohlensäure übereinstimmt, aber die notwendige freie Gleichgewichtskohlensäure der Lösung C bei 9 °C insgesamt nur der 60,1 mg/l CO_2 -Menge äquivalent ist. Auf diese Weise erhielt das Wasser C infolge des Vermischens im Liter ($113,0 - 60,1 =$) 62,9 in statu nascendi CO_2 -Überschuss, das heisst aggressive Kalksäure.

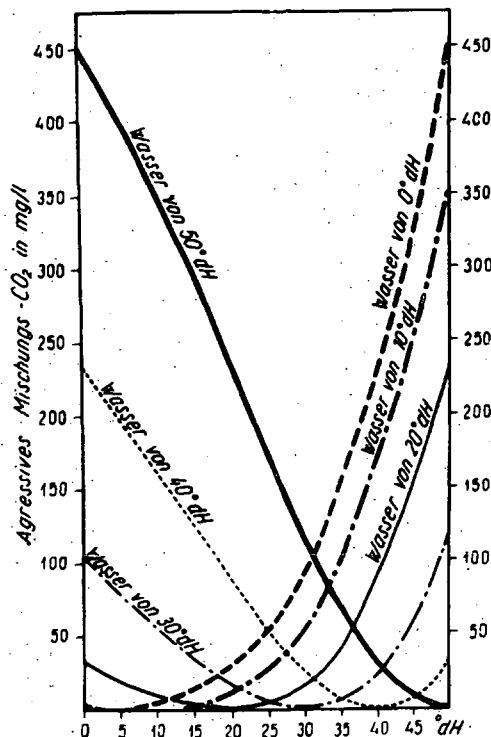


Abb. 4. mg/l CO_2 -Mengen der bei der Mischung im Verhältnis 1:1 von Karstwässern unterschiedlicher Härte entstehenden aggressiven Kohlensäure bei 10 °C

In der am obigen Beispiel veranschaulichten Weise haben wir die mg/l Werte des adäquaten CO_2 der beim Vermischen der Wässer im Verhältnis 1 zu 1 frei werdenden aggressiven Kohlensäure bei 10 °C Temperatur und 0–50 Karbonathärte berechnet und in der Tabelle 5 aufgeführt.

In Abbildung 4 zeigen wir dieselben Angaben auch in graphischer Darstellung an, auf diese Weise werden nämlich anhand der Kontinuität der Diagrammlinien auch die zu den Zwischenwerten gehörigen in statu nascendi CO_2 Volumina ablesbar.

Wie erwähnt, kommen die Temperaturdifferenzen in der quantitativen Steuerung der Mischungsaggressiven Kohlensäure untergeordnet, nur als modifizierende Faktoren zur Geltung. Um das zu erläutern, sei auch jetzt das Wasser A des obigen Beispiels von 9 °C Temperatur, das Wasser B hingegen von 15 °C. Folglich wird die Temperatur des Wassers C das entsprechende Mischungsmittel 12 °C aufweisen.

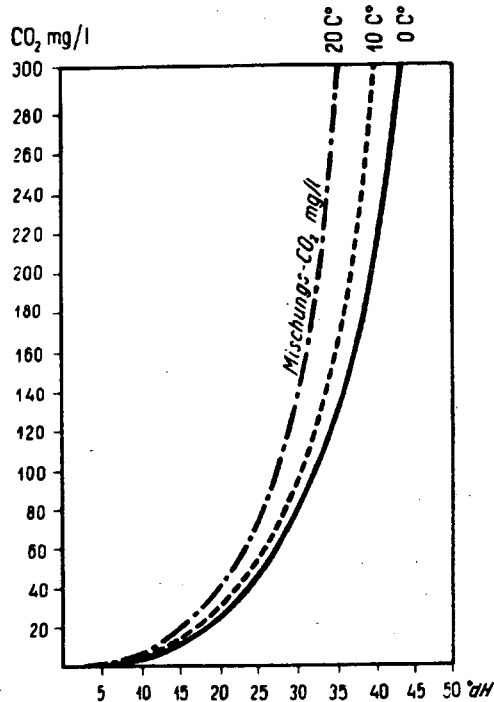


Abb. 5. Bei der Mischung im Verhältnis 1:1 des gelöste Chemikalien nicht enthaltenden weichen Wassers und der Gleichgewichtskarstwasser unterschiedlicher Karbonathärte frei werdende in statu nascendi mg/l CO₂-Werte in Systemen von 5, 10 und 20 °C.

wäre. Die — vom Gesichtspunkt des Forschers aus sehr wichtige — Frage, für wieviel Kalkstein das in den Mischungslösungen frei werdende aggressive CO₂, die sekundäre Lösung so schliesslich in jedem Fall gewähren kann, kann am einfachsten ebenso anhand der Tabelle 4 beantwortet werden wie folgt:

Wir summieren sämtliche gebundene und zugehörige mg/l CO₂-Werte der Gleichgewichtswässer A und B, dann verteilen wir den erhaltenen Betrag durch zwei. Die so erhaltene Zahl ist gleich der CO₂-Gesamtmenge im Liter des Wassers C. Dann schreiten wir in der Richtung der zunehmenden Werte vor, indem wir gleichzeitig die das gebundene und bei entsprechender Temperatur zugehörige CO₂ aufführenden Zahlen in den Kolonnen der Tabelle addieren, bis die Summe der dort befindlichen gebundenen mg/l CO₂-Werte mit dem schon vorher errechneten mg/l CO₂-Gesamtgehalt des Wassers C übereinstimmt. *Die von uns gesuchte sekundär lösbare Kalkmenge wird durch die Differenz zwischen dem zu der die Koinzidenz ergebenden Reihe gehörigen CaCO₃-Wert, sowie dem zum Wasser C gehörigen gemittelten CaCO₃-Wert ausgedrückt.*

Das Gesagte wird am Beispiel der Wässer A und B bei 9 °C dargelegt.

Der vollständige Vorrat des durch die Vereinigung der Mengen im Liter der Wässer A und B erhaltenen Wassers C ist:

$$\frac{66,5 + 5,8 + 223,9 + 220,2}{2} = 258,2 \text{ mg/l.}$$

Derselbe gemittelte CaCO_3 -Vorrat des Wassers C wurde schon früher errechnet: 330,2 mg/l.

Vergleichen wir jetzt auf 258,2 mg/l CO_2 -Gesamtgehalt die Summen der zusammengehörigen Zahlen in der Kolonne des gebundenen CO_2 der Tabelle und in der Kolonne des zugehörigen CO_2 bei 9° C, so können wir mit einer gewissen Fertigkeit in der Interpolation aussagen, dass diese Summe – im Gleichgewichtszustand – 166,7 mg/l gebundenem und 91,5 mg/l zugehörigem CO_2 entspricht.

Nach diesen ist die durch die Lösung C tatsächlich auflösbare CaCO_3 -Menge aufgrund der Formel N. V. leicht zu berechnen, wobei N = der Zahl mg/l des gebundenen CO_2 der Lösung bezeichnet, dagegen ist $V = 2,2723$ konstant.

So vermag in unserem Fall die Lösung C in der neuen Gleichgewichtslage dem $(166,8 - 2,2723 \cdot 91,5) = 378,8$ mg/l CaCO_3 äquivalentes Kalziumhydrokarbonat in Lösung zu halten, das heisst, jedes Liter davon vermag $(378,8 - 330,2) = 48,6$ mg/l Kalkstein durch Mischungskorrosion sekundär aufzulösen.

Über die Rolle der Mischungskorrosion in der Verkarstung können in der Literatur widerspruchsvolle Ansichten gefunden werden. Nach dem Schweizer BÖGLI (1963/1–2), der in dieser Frage als leitender Spezialist gilt, ist sie nämlich nur in den tiefen Zonen des Karstes von Bedeutung, wo die Gänge mit Wasser vollständig erfüllt sind, und es gibt keine gut belüfteten Lufträume, mit denen im Kontakt stehend, das Wasser keinen frei werdenden aggressiven Kohlensäure-Anteil verdunsten könnte. Im Gegensatz dazu haben unter anderem die ungarischen Forscher (GÁNTI 1957, MAUCHA 1960, CZÁJLIK 1962, ERNST 1964), gestützt auf zahlreiche Beobachtungen und Analysen, darauf hingewiesen, dass mit der rezenten Korrosion der bisweilen stark übersättigt scheinenden Höhlenwässer nicht selten sogar in den geräumigen Höhlengängen objektiv gerechnet werden kann.

Es ist offensichtlich, dass diese Auseinandersetzung durch die Untersuchung der Lösungs- bzw. Diffusionsgeschwindigkeit der Gase endgültig entschieden werden kann und in dieser Hinsicht wird die Wahrheit nach unserer Meinung am besten durch die Auffassung von H. FRANKE (1965), ERNST (1964) und BALÁZS (1966) widerspiegelt. Sie sind der Meinung, dass die sich mischenden Karstwässer unterschiedlicher Härte sogar mit der freien Atmosphäre in Berührung kommend lösungsfähig werden können, da sich die Diffusion des Kohlendioxids aus der Lösung nur an der Berührungsfläche der beiden Medien, also flächenhaft und deshalb verlangsamt vonstatten geht, während die Mischungsgeschwindigkeit der zusammenfliessenden Wasserkomponenten weitgehend höher ist, da die sich mischenden Wässer in turbulenter Bewegung sind und so kommen immer neuere Wasserteilchen mit den Gesteinsflächen in lebhafte Berührung.

Richtig wird von BALÁZS betont (a. a. O., S. 184): „In den ungarischen Karsthöhlenwässern treten die grössten Konzentrationsdifferenzen da auf, wenn sich die in der Tiefe stagnierenden, von Sickerung entstammenden Karstwässer von grosser Härte mit den Überflutungswässern der Schneeschmelze oder der plötzlichen sommerlichen Schauer mischen.“ Bei solchen Gelegenheiten können nach ihm die einbrechenden Wässer – ausser der gelegentlich mit sich gebrachten aggressiven Wirkung – in den grösseren ungarischen Höhlen die sekundäre Lösung von sogar für mehrere hundert kg Kalksteine ermöglichen.

Auf zahlreiche Teilfragen und vor allem auf die unter den Naturbedingungen sich konkretisierenden kennzeichnen in der Grössenordnung der Lösung bezogen kann man natürlich nur nach sehr vielen weiteren sorgfältigen Datensammeln und nach deren Bewertung endgültige Antwort erwarten, es kann aber bereits heute

sicherlich beurteilt werden, ob die Mischungskorrosion, als eine der wichtigsten Bestandteile des hydrokarbonatischen Lösungsprozesses, tatsächlich eine faktorielle Rolle in der Karstenwicklung spielt.

Wollten wir die von vielen Komponenten koordinierten Gesetzmässigkeiten der den Kohlendioxid-Anteil der Atmosphäre und den Kohlensäuregehalt des Wassers, sowie die Menge des gelösten Kalkes bestimmenden Wechselwirkungen bisher noch so vielseitig analysieren, bleibt noch immer die Darstellung einer sehr wichtigen Gleichgewichtsbeziehung übrig, namentlich die, die wir einerseits zwischen Alfa und Omega, das ist der $p\text{ CO}_2$ Druck der Atmosphäre (bzw. der Bodenatmosphäre), andererseits der im Gleichgewicht befindlichen Lösung der Kalkkohlsäure annehmen müssen. Das ist übrigens für die hydrokarbonatische Lösung das höchstliegende und am meisten zeitbeanspruchte Gleichgewicht, dessen Einstellung von Karstwasser unter den Naturverhältnissen in vielen Fällen nicht einmal erreicht wird.

Es kommt hier also darauf an, dass *die im Laufe des Hydrokarbonatbildungsprozesses verbrauchte, in der Lösung befindliche Kohlensäuremenge als Defizit in der Gleichgewichtsbilanz des primären Lufrum-Wasser-Doppelsystems auftritt, was den lösungsgerichteten Bewegungsprozess von neueren atmosphärischen Kohlendioxidmengen auslöst*. Anders könnte man auch sagen, nachdem das Absorptionsgleichgewicht der an das Kalzium (Magnesium) hydrokarbonatisch angebundenen Kohlensäuremengen breits gestört wurde, bzw. sie nur zur zugehörigen CO_2 -Menge die Gleichgewichtsbeziehung aufrechterhalten (nach der Formel 6), so muss der in der Lösung befindliche zugehörige Kohlensäureanteil in eine neuere adäquate Gleichgewichtsbeziehung zum $p\text{ CO}_2$ -Druck der Luft kommen (nach der Formel 3). Das heisst, der Fortschritt des Kalklösungsprozesses im Sinne der Abbildung 2 wirkt bis zum mit der Lösung in Berührung kommenden Luftraum zurück und führt zum Absorbieren neuerer Kohlendioxidmengen daraus.

Auf diese Weise wird letzten Endes das mit dem Kalkstein in Berührung stehende Wasser solange aus der Atmosphäre immer neuere Kohlendioxidmengen absorbieren, bis das Gleichgewicht nach der Formel 3 zwischen dem CO_2 -Anteil des Luftraumes und dem zugehörigen freien (Gleichgewichts-)Kohlensäure-Anteil entwickelt. All das bedeutet also nicht die Unbrauchbarkeit der SCHLOESING'schen Tabelle (Nr. 3), sondern führt nur zu der Einschränkung, dass *im Falle des gelösten Kalkgehalts die Werte der Tabelle 4 auf die CO_2 -Gleichgewichtswerte bei entsprechender Temperatur bezogen werden müssen*.

Sei nun das Gesagte an einem bereits auch vorher angewandten Beispiel untersucht.

Das Gasmisch mit 0,0003 $p\text{ CO}_2$ -Druck der normalen atmosphärischen Luft entspricht im Gleichgewichtszustand 0,84 mg/l gelöstem CO_2 bei 5°C . Wie vorher gesehen, wenn wir diesen Kohlensäurewert als verbleibend betrachten, soll die hydrokarbonatische Lösungsbereitschaft des in der Atmosphäre gesättigten Wassers sehr geringfügig sein. Wenn es aber nach dem Ausmass des Verbrauchs im Lösungsgeschehen für eine neue Absorption aus dem Luftraum *Möglichkeit und Zeit* gibt, bis dieser 0,84 mg/l Wert des gelösten CO_2 , als die mit dem Hydrokarbonat das Gleichgewicht haltende zugehörige Kohlensäure wiederhergestellt wird, hat das Wasser je Liter bereits etwa 81,97 mg/l CaCO_3 aufgelöst (von der Tabelle 4 mit Interpolation berechnet).

So wird es vollkommen verständlich, dass sogar die weichsten Karstwässer, die für die ganz nackten Karste und die hochgebirgigen, über der Schneegrenze gelegenen Karste kennzeichnend sind, können etwa 80 bis 100 mg gelösten Kalk je Liter enthalten. (Nach der Mitteilung von D. BALÁZS 1963) beträgt der Kalk-

gehalt der aus dem nackten Karstblock der 3000 m hohen *Kornet es Saouda* in Libanon heraustretenden *Cadisha-Quelle* tatsächlich nur 104 mg/l. Und die *Lodowe Zródło* Karstquelle, die in der polnischen West-Tatra an die Oberfläche tritt, enthält 75–85 mg CaCO_3 je Liter. H. KESSLER hat in den aus der Tiefe des 2000 m hoch ragenden nackten albanesischen Plateaukarstes stammenden Karstwässern 80–100 mg/l CaCO_3 bestimmt. BAUER (1964) in den österreichischen Alpen, TELL (1961) in Schweden erwähnen Karstwässer mit gleichfalls schwacher Konzentration.)

Die obigen Werte stimmen auch in der Grössenordnung ziemlich wohl mit den Angaben der auf anderem Wege erhaltenen theoretisch berechneten Ergebnissen überein (MILLER 1952, MÁNDY 1954, GÁNTI 1957, ERNST 1961, MARKÓ 1961, FRANKE 1967).

Die Fragestellung des zeitlichen Ablaufs der die Auflösung von Kalk bewirkenden hydrokarbonatischen Reaktionskette wurde in letzter Zeit von BÖGLI (1960, 1963) erörtert. Nach seinen Feststellungen ist es zweckmässig, den hydrokarbonatischen Lösungsvorgang am Kalkgestein vom Gesichtspunkt des zeitlichen Ablaufs aus in vier Phasen wie folgt zu teilen:

In der ersten Phase, in der die Lösungsgeschwindigkeit sehr hoch ist, geht die einfache physikalische Lösung von CaCO_3 nach Gleichung 1 vor sich. Die Umwandlung des im Wasser gelösten CO_2 zum Teil in Kohlensäure, bzw. deren Dissoziation in H^- - und HCO_3^- -Ionen erfolgte bereits früher. Der Ablauf der ersten Phase benötigt ungefähr 1 sec.

Die zweite Phase, in der die Assoziation der Karbonationen (CO_3^{--}) aus dem Kalkstein an die H^- - und HCO_3^- -Ionen erfolgte früher. Der Ablauf der ersten Phase benötigt ungefähr 1 sec.

Die zweite Phase, in der die Assoziation der Karbonationen (CO_3^{--}) aus dem Kalkstein an die H^- -Ionen der Kohlensäure vonstatten geht, kann von der ersten nicht abgetrennt werden. Aber das in der ersten Phase eingestellte Gleichgewicht wird in dieser Phase wegen der Entfernung der CO_3^{--} -Ionen gestört, dem notwendigerweise eine neue physikalische (karbonatische) Kalklösung folgen muss.

In der zweiten Phase ist aber im Wasser auch das Gleichgewicht zwischen dem physikalisch und dem chemisch gelösten CO_2 gestört. Deshalb setzt sich bald auch die dritte Bewegungsphase des Systems ein, die als die Umwandlung des physikalisch gelösten Kohlendioxid in Kohlensäure bezeichnet wird.

Nach BÖGLI's Feststellungen soll der zeitliche Ablauf dieser dritten Phase 1 sec. lang andauern. Dabei wird der ursprüngliche CO_2 -Vorrat des Wassers zur hydrokarbonatischen Lösung des Kalksteins verbraucht. Da setzt nach ihm die vierte Phase ein, das heisst, aus dem Luftraum werden neuere Kohlendioxidmengen absorbiert. Damit bleibt die Reihe der Lösungsreaktionen im weiteren in Bewegung bis zum Erreichen des Gleichgewichtszustandes erhalten, der durch das Gleichgewicht höchster Ordnung nach vielfachen Umsetzungen der hydrokarbonatisch aufgelösten Kalkmenge und des Kohlendioxidgehaltes der mit dem Wasser im Kontakt stehenden Atmosphäre bestimmt wird.

Somit wird letzten Endes in der vierten Phase die Lösungsdynamik des Kalksteins durch die Absorptionsgeschwindigkeit bestimmt, die sehr klein ist. Nach BÖGLI sind 24–60 Stunden nötig, um das Endgleichgewicht zu erreichen. FREAR und JOHNSTON erwähnten dagegen mehrere Tage notwendig.

Als ein sehr wichtiger Faktor wird bei der Bestimmung der Absorptions- bzw. Diffusionsgeschwindigkeit die *Temperatur* berücksichtigt, die bei niedrigeren Werten die Gasabsorption wesentlich verlangsamt, im Falle von höheren Werten hingegen (wegen der schnelleren Bewegung der an die Grenzfläche anstossenden

Molekülen und somit wegen ihrer grösseren Anzahl) sie vielfach beschleunigen kann. Nach der heute allgemein angenommenen Ansicht von FEITKNECHT wird die Reaktionsgeschwindigkeit in einer wässrigen Lösung bei je 10° Temperaturerhöhung etwa um das Doppelte zunehmen. Aber die Absorptions- bzw. — beim Ablauf des Vorganges in entgegengesetzter Richtung — Diffusionszeit wird auch durch die *Flächengrösse je Wassermengeneinheit* erheblich beeinflusst. Dem entsprechend je grösser die Austauschfläche (Wassertropfen, Aerosol, Wasserfall usw.) ist, desto schneller läuft der Stoffumsatz in der Zeiteinheit ab. Das Ausmass des Stoffumsatzes in der Zeiteinheit wird aber auch durch den *hydrostatischen Druck* nach der vorher erörterten Deutung erheblich beeinflusst.

Die modernen Untersuchungsergebnisse von GERSTENHAUER und PFEFFER (1966) widersprechen der auf die Ablaufzeit des Lösungsgeschehens bezogenen Theorie von BÖGLI, insbesondere bezweifeln sie (nach unserer Meinung wohl mit Recht) die Reaktionsgeschwindigkeit der Phasen 1, 2, und 3 von BÖGLI. Deshalb, wenn auch wir die vierphasige Einteilung der Reaktionskette von BÖGLI wegen der didaktischen Gesichtspunkten der Veranschaulichung annehmen, müssen dessen bewusst sein, dass die einzelnen Phasen in der Natur nie nacheinander, sondern *immer gleichzeitig und unter gegenseitiger Bedingtheit* auftreten können, d. h. sie lassen sich ja phasenmässig nicht trennen. Die Reversibilitätskette in der Reihe der Lösungsreaktionen mit engster Durchlässigkeit in der Zeiteinheit entspricht wirklich dem in unserer Abbildung 2 dargestellten obersten Pfeil, d. h. liegt zwischen dem Wasser und dem Luftraum, aber nach unserer Ansicht ist es daher richtiger, die Fragestellung so abzufassen, dass die hydrokarbonatische Lösungsgeschwindigkeit des Systems mit 3 Komponenten *vom Anfang an grundlegend durch diese Absorptions- bzw. Diffusionsstoffumsatzkapazität bestimmt wird*. Deren Faktorbestandteile und vielseitige Regelungsbedingungen haben wir bereits früher eingehend untersucht.

III. Die nichtkarstige Kalksteinkorrosion

Während die einfachen physikalischen (karbonatischen) und kohlensauerer (hydrokarbonatischen) Lösungsvorgänge umfassend als Karstkorrosion bezeichnet werden können, gestalten die mit anderen chemischen Einwirkungen in Verbindung stehenden korrosiven Denudationsereignisse in ihrer Gesamtheit eine Gruppe der chemischen Verwitterungen des Kalksteins nichtkarstiger Art.

In dieser Ansicht können eine Anzahl von chemischen, vorwiegend Austauschreaktionen bezeichnet werden, die in erster Linie durch die Wechselreaktion der chemischen Wirkungsstoffe der Böden unterschiedlicher Zusammensetzung und des Kalkgesteins konkretisiert werden. In einem Teil von diesen sind die Wirkungen von organischen und anorganischen chemischen Produkten (besonders verschiedenen Säuren) der durch das Wurzelnetz der in den Böden lebenden Pflanzen und durch die Mikroorganismen des Bodens ausgeschiedenen, sowie der in der Humushorizont der Böden unter aeroben und manchmal anaeroben Bedingungen in Zersetzung begriffenen pflanzlichen und tierischen Abfälle vorherrschend, in ihrem anderen Teil dagegen die Wirkungen der durch die anorganischen Mineralisationsvorgänge im Boden entstandenen chemischen Produkte. Unter dem Einfluss der von unserem Gesichtspunkt aus zusammenfassend als nichtkarstige Korrosionsfaktoren zu betrachtenden sämtlichen Bodenprozesse solcher Art tritt das Kalzium des Kalkgesteins aus der karbonatischen Bindung heraus und eine durchaus neue Kalziumverbindung entsteht, die entweder in Form einer Lösung abtransportiert

wird, oder als festes Reaktionsprodukt längere oder kürzere Zeit hindurch in autochtoner Lage zurückbleibt.

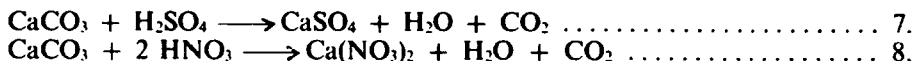
Die modernen bodenkundlichen, agrochemischen und bodenbiologischen Handbücher (FEKETE 1952, 1958, STEFANOVITS 1959, 1963, FEHÉR 1954, PEJVE 1961, DI GLÉRIA 1962, BALLENEGGER – DI GLÉRIA 1963, FEKETE – HARGITAI – ZSOLDOS 1964, BECK 1968) analysieren ausführlich die für die Böden und Bodenhorizonte unterschiedlicher Zusammensetzung kennzeichnenden und in ihrer Dynamik von den Klimaverhältnissen weitgehend beeinflussten Humifikationsprozesse. Von den im Laufe der aeroben Zersetzung im Boden der organischen Substanzen, sowie unter dem Einfluss der Lebenstätigkeiten der im Boden vorhandenen Mikroorganismen entstehenden Dissimilationsverbindungen sind hinsichtlich der Kalksteinkorrosion die Ameisensäure, die Oxalsäure, die Essigsäure, die Propionsäure, die Milchsäure, die verschiedenen Wurzelausscheidungen und natürlich die früher bereits ausführlich analysierte Kohlensäure am wesentlichsten, die mit dem Kalkstein die entsprechenden Kalziumsalze bilden.

Es wäre heute noch schwierig zu beurteilen, mit welcher Dynamik diese Verbindungen in der Kalklösung im einzelnen beteiligt sind, um so mehr, als sie im Boden komplex und gleichzeitig wirken, andererseits aber, da das Verhältnis ihrer regionalen Beteiligung an der Bodenbildung auch nicht konstant ist. Ihre Gesamtwirkung ist aber schon leichter zu erfassen. Es genügt für dessen Veranschaulichung auf den klassischen Versuch der Biochemie, den Keimversuch eines Samens auf Marmorplatte hinzuweisen, wobei die winzige Wurzel bereits in kurzer Zeit eine gut bemerkbare Spur an der glatten Kalksteinoberfläche hinterlässt (SACHS 1865).

Von den im Laufe der im Boden vorstatten gehenden aeroben Zersetzungs Vorgängen (auch unter anaeroben Bedingungen, aber viel langsamer) der abgestorbenen organischen Pflanzen- und Tiersubstanzen entstehenden korrosiv wirksamen Säuren sind die *Fulvosäuren* und die *Krensäuren*, die in saurem Bodensstoff (bei aeroben Bedingungen) besonders aktive Lösungswirkung ausüben und auch ihre entstandenen Salze in Lösung beibehalten.

Die Kalkgestein wird durch die *Humus- und Huminsäuren* des Bodens ebenso wohl aktiv korrodiert, die sich aber in saurem Mittel mit dem Kalzium ausscheiden.

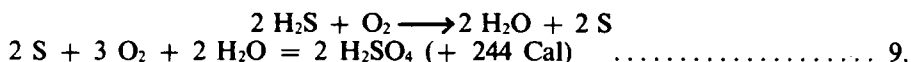
Auch die Einwirkung der im Laufe der biogenetischen oder mineralischen Verwitterungsprozesse des Bodens entstehenden *anorganischen Säuren und Salze* ist von grosser Bedeutung für die korrosiven Denudation des Kalkgesteins. Von diesen werden die Schwefelsäure und die Salpetersäure, als sehr starke Säuren, u. a. dadurch gekennzeichnet, dass ihre Austauschreaktionen mit dem Kalkstein sogar bei sehr dünnen Konzentrationen in einer Richtung (irreversibel) ablaufen:



Es ist zu bemerken, dass die Bildung der obigen Säuren im Boden zu verschiedenen Vorgängen in Beziehung stehen kann. So ist die Schwefelsäure am häufigsten ein Produkt der anorganischen oder biogenen (Tätigkeit der Schwefelbakterien) Oxydation der Sulfiden (z. B. Pyrit) und des Schwefelwasserstoffs (H_2S), und die grundlegenden Ausgangsverbindungen ergeben sich manchmal aus der chemischen Zersetzung der anorganischen Bestandteile des Bodens, und häufiger aus dem zumeist anaeroben Zersetzungs Vorgang der von lebendigen Organismen stammenden abgestorbenen organischen Substanzen. Nach der Mitteilung von D. FEHÉR (1954) ist für die Tätigkeit der zu den *farblosen Schwefelbakterien*

gehörigen *Achromatium*, *Beggiatoa*, *Thiotrix*, *Thioploca* usw. Genera kennzeichnend, dass sie aus dem bei der Zersetzung der Eiweisse frei werdenden H_2S zuerst Schwefel abspalten, den sie in ihren Plasmen in Form von Tropfen speichern, dann allmählich verbrennen, um so zu ihrer C-Assimilation Energie zu gewinnen.

Der Vorgang ist schematisch der folgende:

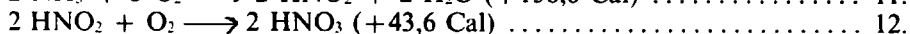
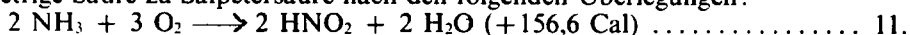


Im Laufe eines etwas komplizierteren Vorganges geht nach FEHÉR (a. a. O., S. 115) die biologische Aktivität der den Schwefelsauerstoff oxydierenden *Purpurbakterien* vor sich. Auch diese sind aerobe Organismen, sie oxydieren also den Schwefelsauerstoff und so assimilieren sie auf dem chemosynthetischem Wege. Mittels des in ihren Plasmen vorhandenen Bakteriochlorophylls und Bakterioerythrins können sie auch die Lichtenergie der Sonne benützen und somit parallel assimilieren sie auch. Mit Hilfe des Schwefelwasserstoffs, unter Benutzung der Lichtenergie bei Entzug des O_2 (als Akzeptor) aus dem CO_2 spalten sie C ab und bilden daraus Formaldehyd nach der unten folgenden Gleichung:



Von den im Boden lebenden Schwefelbakterien sind die Genera *Thiocystis*, *Thispirillum*, *Rhodomonas*, *Rhodotheca*, usw. in diese Gruppe einzureihen.

Als Ausgangsstoff der Bildung von Salpetersäure im Boden soll meist das aus organischer Zersetzung stammende Ammoniak betrachtet werden, das gleichfalls unter Mitwirkung von Bakterien im Boden zu den auf das Kalkstein korrosiv wirkenden Säuren oxydiert wird. WINOGRADSKI hat bereits am Ende des vorigen Jahrhunderts (1892) bestätigt, dass der Nitrifikationsvorgang durch zwei metabolisch zusammenwirkende Bakteriengruppen: die Gruppen der nitritbildenden und der nitratbildenden Bakterien im Boden durchgeführt wird. Die eine Gruppe, die der sog. Nitritbakterien, oxydiert das Ammonium zur salpetrigen Säure, während die andere, die Gruppe der nitratbildenden Bakterien oxydiert die so entstandene salpetrige Säure zu Salpetersäure nach den folgenden Überlegungen:

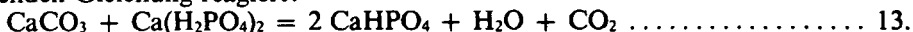


Naturgemäss kann weder die salpetrige Säure, noch die Salpetersäure im Boden in unbindigem Zustand verblieben, sondern sie treten gleich bei ihrer Entstehung mit den Kationen des Bodens bzw. des Kalksteins in Verbindung und bilden mit ihnen Nitrite bzw. Nitrate (s. Formel 8).

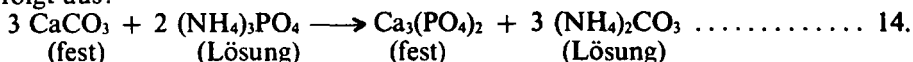
Es ist zu bemerken, dass eine gewisse Menge Salpetersäure auch aus der Luft in den Boden eintreten kann. Wie FINDEISEN (1939), HARRASSOWITZ (1954), KILINSKI (1958) und REITER (1960) betonen, enthält der Sommerregen fast immer Salpetersäure, die im Laufe der die Gewitter begleitenden elektrischen Entladungen in der Atmosphäre entsteht. Obwohl bisher nicht gelungen ist, infolge der Schwierigkeiten der noch nicht ausgearbeiteten Messmethoden die Anteilquote der Säurenmenge solcher Herkunft an der Karstkorrosion zu bestimmen, müssen wir doch annehmen, dass auch noch diese Säurenmenge besonders in den Tropen, wo die elektrischen Entladungen von ständiger Häufigkeit sind, sicherlich als ein beträchtlicher denudativer Faktor auftritt.

Von den möglichen unter Mitwirkung der Bodenlösungen vonstatten gehenden nichtkarstigen Korrosionsvorgängen sollen wegen ihrer Wichtigkeit die Wirkungen

der Phosphatlösungen unbedingt hervorgehoben werden. So z. B. das Dikalziumphosphat, das mit Kalkstein durch Bildung von Monokalziumphosphat nach der folgenden Gleichung reagiert:

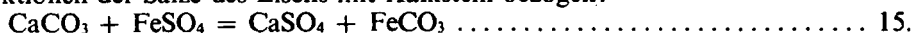


Das Ammoniumphosphat, das als Zersetzungsprodukt von tierischen Kadavern auch in den Rendzinaböden des Kalkgesteins auftritt, wirkt auf das Kalkgestein wie folgt aus:



Nehmen wir das feste Volumen des entstehenden Trikalziumphosphat (vom Molekülvolumen aus umgerechnet) für 100 an, so ergibt sich das Einheitsvolumen der ursprünglichen festen Masse CaCO_3 als 110,7, d. h. die Austauschreaktion geht mit *Volumenverminderung* einher und so kann sie sogar tief im Gefüge des Kalkgesteins vor sich gehen. Wenn nämlich die zustandegekommene feste Masse, die die ursprüngliche feste Masse im Gestein ersetzt, nicht den gleichen Raum, wie das Ausgangsmineral, einnimmt, bleiben um das neue Bildung herum unausgefüllte Lücken im Innern des Gesteingefüges frei (das Porenvolumen nimmt zu), und so kann die aggressive Lösung tief im Innern der Schichten eindringen, wo sie in sehr grosser Mächtigkeit die totale Umwandlung des ursprünglichen Materials auslösen kann.

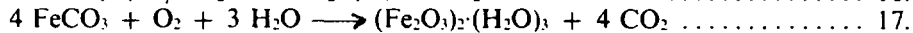
Das bezieht sich übrigens auf jede, festes Reaktionsprodukt resultierende Austauschreaktion, wobei das entstandene Endprodukt von grösserer mineralischer Dichte ist, als die Dichte der ursprünglichen festen Phase. So z. B. auch auf die Reaktionen der Salze des Eisens mit Kalkstein bezogen:



Die Austauschreaktion wird natürlich nicht nur durch Sulfate, sondern auch durch die mit anderen starken Säurenwurzeln gebildeten Eisensalze hergestellt, um so mehr, als das Molekülvolumen des Eisenkarbonates (Siderit) (30,6) geringer ist, als das des Kalziumkarbonates (36,9) und die Ersetzung erfolgt im Verhältnis 1:1 je Moleküle.

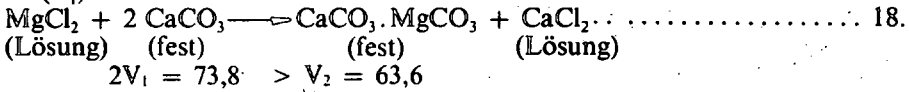
Am obigen Beispiel haben wir einen klassischen Fall der Epigenisation des Kalksteins durch Eisensalze dargestellt.

Es ist ein erwähnenswerter Umstand, dass die an der Grenzfläche zwischen dem Kalkstein und dem Boden entstandene Sideritkruste den Einfluss des Eisensulfates auf die tiefer gelegenen Kalksteinschichten sowieso auch nicht verringern kann, denn es wird durch die kohlensäurehaltigen Bodenlösungen rasch aufgelöst, und dann wird das Ferrokarbonat in Anwesenheit von Wasser und Sauerstoff (der karstige Rendzinaboden ist ein entsprechendes Reaktionsmittel dazu) früher oder später zu Ferrooxid oxydiert, das im Boden in der Form des dunkelrot gefärbten Hämatit (Fe_2O_3) oder des braun gefärbten Limonit ($2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) gespeichert werden kann.

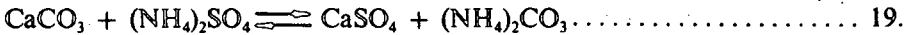


Es ist wahrscheinlich, dass dem Vorgang der Sideritbildung ähnlich im Kalkstein auch zahlreiche andere Ersetzungen entstehen. Die Bildung des Galukonits und des Nukleus, Ersetzung der Sulfide von Schwermineralen (z. B. Pyrit) an Stelle der Kalzitkristalle (Pseudomorphosen) können für Ergebnisse von äquivalenten Prozessen gelten. Gewiss hat ELIE DE BEAUMONT angeführt bei CAYEUX (1935) recht, als sie annimmt, dass die Erklärung für die nachträgliche Dolomitisierung des mit dem Meerwasser in Berührung stehenden Kalkgesteins auch in dieser Erscheinung zu suchen sei. In diesem Fall wirkt nämlich das Magne-

siumchlorid des Meerwassers auf das Kalziumkarbonat ein und das bekannte Dolomit-Doppelsalz kommt zustande. Die Reaktion ist sogar im Innern des Gesteins möglich, denn die Dichte des vom Kalziumkarbonat und Magnesiumkarbonat schlechter löslichen Doppelkarbonats (V_2) liegt viel höher, als die des Kalzits (V_1).

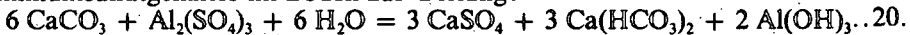


In der nichtkarstigen Korrosion des Kalkgesteins spielt gleichfalls die manchmal beträchtliche Menge an Ammoniumsulfatgehalt des Bodens eine Rolle:

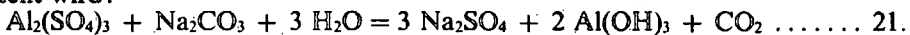


Es ist aber zu beachten, dass diese Reaktion in der Richtung des oberen Pfeiles erst dann vonstatten geht, wenn die Verbindungen an der rechten Seite der Gleichung im Verhältnis zu denen der linken Seite von geringem Verdünnungsgrad sind, d. h. die Kontinuität der Abtragung des gebildeten Kalziumsulfats und Ammoniumkarbonats durch irgendeine Wirkung, z. B. Grundwasserbewegung oder biogene Inanspruchnahme erfolgt. Wenn dagegen infolge irgendeiner Ursache die Konzentration der linken Seite einen höheren Wert beträgt (z. B. im Meereswasser), erfolgt die Austauschreaktion nach dem unteren Pfeil (BECK 1968).

Auf interessanter Weise kommt die korrosive Wirkung des gelegentlichen Aluminiumsulfatgehaltes im Boden zur Geltung:



Es ist zu bemerken, dass die obige Reaktion lediglich in neutralen Böden oder in Böden mit saurem pH-Bereich erfolgt, da nämlich das im wässrigem Mittel sauer hydrolisierende Aluminiumsulfat in diesem Falle vorerst zur Verminderung der Alkalität des Bodens im Sinne der folgenden Gleichung verbraucht wird:



Damit wir uns über die Erscheinungsformen der früher ziemlich als unbedeutend betrachteten nichtkarstigen Korrosionswirkung des Kalkgesteins ein möglichst vollständiges Bild gestalten können, müssen wir noch den Umstand erwähnen, dass sich die in den Bodenlösungen vorhandenen verschiedenen Ionen nicht nur durch Herstellung chemischer Bindungen, sondern auch durch ihre einfache Massenwirkung auf die Lösungsdynamik erheblich auswirken, und zwar auf solche Weise, dass sie die Wirksamkeit der hydrokarbonatischen Lösung durch ihre bloße Anwesenheit *auf indirektem Wege regeln*.

Es ist bekannt, dass die Löslichkeit eines Salzes in Gegenwart eines Salzes mit gleichem Ion abnimmt, die Gegenwart eines Salzes mit fremdem Ion dagegen den Löslichkeitsgrad erhöht (GRÖH 1939, PAPP 1954 usw.). So kann z. B. die Löslichkeit des Natriumchlorids durch Magnesiumchlorid vermindert werden, gleichzeitig aber erhöht der Gehalt des Wassers an Alkalichlorid (NaCl , KCl) den Löslichkeitsgrad des Kalziumkarbonats, des Kalziumsulfats, des Kalziumphosphats usw. Ebenso wird die Löslichkeit des CaCO_3 gefördert, wenn die Bodenlösung z. B. Magnesiumchlorid enthält.

Nach der heutigen Beurteilung vermindern die anderen gelösten Karbonate die hydrokarbonatische Lösung des Kalkgesteins dadurch, dass sie auf den K_1 -Wert im Nenner der Formel 6 vermindern, was zunächst die Zunahme der zugehörigen Kohlensäure mit sich bringt, die notwendig ist, das Kalk-

gestein in Lösung zu halten. Deshalb beanspruchen die natürlichen Karstwasser, die immer mehr oder weniger Menge an Karbonat mit fremden Kationen enthalten, in der Regel mehr freie Kohlensäure, als das aufgrund ihrer Kalkhärte errechnet werden kann.

Das praktische Ausmass dieser Zunahme der Beanspruchung ist nach PAPP (a. a. O., S. 39) meist nicht bedeutsam, da besonders bei den harten Wässern, die zumeist auch andere Karbonate enthalten, im Verhältnis zur sowieso beträchtlichen Menge an Gleichgewichtskohlensäure nur um einen unbedeutenden Überschuss an CO_2 -Bedarf handelt. Gleichzeitig muss noch mit dem Umstand gerechnet werden, dass die durch Salze mit gleichen Ionen bewirkte Verminderung der Löslichkeit von CaCO_3 durch diejenigen Salze mit fremden Ionen leicht ausgeglichen werden kann, die auch in den Kartswässern in veränderlicher Grösse jeweils vorhanden sind, und die auf die Löslichkeit des CaCO_3 zumeist erhöhend wirken. All das bedeutet also wohl mit statistischer Gültigkeit in der Mehrzahl der Fälle, dass die anhand der Formel 6 errechneten Angaben der Tabelle 4 den Ansprüchen der annähernd guten Genauigkeit unverändert entsprechen.

In diesem kurzgefassten Kapitel haben wir sämtliche faktorielle Möglichkeiten der in der Natur vorkommenden nichtkarstigen Charakter aufweisenden Korrosion erschöpft. Unser Bestreben war darauf gerichtet, nur die wichtigsten von den Beobachtbaren, in ihrer objektiven Wirkung sich widerspiegelnden Komponenten hervorzuheben. Wir müssen aber darauf hinweisen, dass die überaus daten- und arbeitsaufwendige Untersuchung zahlreicher Teilfragen und Überlegungen hinsichtlich der Grössenordnung ihrer Wirksamkeit noch die perspektivische Aufgabe der Karstwissenschaft bildet. Durch ihre zukünftige Beantwortung kann die gesamte Karstwissenschaft sehr viel gewinnen, — unter Umständen sogar durch eine bis in die Tiefe reichende notwendige Umwertung gewisser grundlegender Axiomen der modernen Karstbetrachtung. Vor allem aber können wir vielleicht bei der Beurteilung des weit verzweigten Problemenkreises der Abtragungsdynamik der kilmazonalen Karstgebieten von der Erweiterung des Informationsmaterials eine impulsive Schwungkraft erwarten.

Literatur

- Balázs, D. (1963): Karsztgenetikai problémák (Karstgenetische Probleme) — Földr. Ért. 1963. 4.
 Balázs, D. (1966): A keveredési korrózió szerepe a karsztosodásban (Die Rolle der Mischungskorrosion in der Verkarstung) — Hidr. Közl. 1966. 4.
 Ballenegger — Di Gléria (1962): Talaj- és trágyavizsgáló módszerek (Boden- und Düngeruntersuchungsmethoden) — Budapest, 1962.
 Bauer, F. (1964): Kalkabtragungsmessungen in den österreichischen Kalkhochalpen — Erdkunde 18. 1964.
 Beck, Th. (1968): Mikrobiologie des Bodens — München — Basel — Wien, 1968.
 Bögli, A. (1956): Der Chemismus der Lösungsprozesse und der Einfluss der Gesteinsbeschaffenheit auf die Entwicklung des Karstes — Report of the Commission on Karst Phenomena IGU, New York, 1956.
 Bögli, A. (1960): Kalklösung und Karrenbildung — Zeitschr. f. Geomorph., Supplem. 2. Berlin — Nikolassee, 1960.
 Bögli, A. (1961): Der Höhlenlehm — Mem. V della Rassegna Spel. Ital., Como, 1961.
 Bögli, A. (1963/1): Beitrag zu Entstehung von Karsthöhlen — Die Höhle, 1963. 3. Wien.
 Bögli, A. (1963/2): Höhlenkarren — Akten III. Intern. Kongr. f. Speläologie, Bd. 2. Wien, 1963.
 Cauer, H. (1954): Chemisch-physikalische Untersuchungen der Klimaverhältnisse in der Kluterthöhle — Archiv für Physikalische Therapie, Berlin, 1954. 1.
 Cayeux, L. (1935): Roches, Carbonates, Calcaires et Dolomites — Paris, 1935.
 Chohnoky, J. (1940): A mésztufa vagy travertinó képződéséről (Über die Bildung von Kalktuff oder Travertin) — Matem. és Term.-tud. Ért., 1940. 3.
 Corbel, J. (1959): Érosion en terrain calcaire. Vitesse d'érosion et morphologie. Ann. de Géogr. 1959. Paris

- Czájlik, I. (1961): A Vass Imre-barlang részletes hidrológiai vizsgálatának újabb eredményei (Neuere Ergebnisse der eingehenden hydrologischen Untersuchung in der Vass Imre-Höhle) – Karszt és Barlangkutatás, III. 1961.
- di Gléria, J. (1962): Mezőgazdasági kémia (Landwirtschaftschemie) – Budapest, 1962.
- Dudich, E. (1932): Az Aggteleki cseppkőbarlang és környéke (Die Tropfsteinhöhle von Aggtelek und ihre Umgebung) – Budapest, 1932.
- Ernst, L. (1961): A karsztvizek telítettségéről (Über die Sättigung der Karstwässer) – Karszt- és Barlangkutatás, 1961. 1.
- Ernst, L. (1964): Zur Frage der Mischungskorrosion – Die Höhle, 1964. 3. Wien
- Fehér, D. (1954): Talajbiológia (Bodenbiologie) – Budapest, 1954
- Fekete, Z. (1958): Talajtan és trágyázás (Bodenkunde und Düngungslehre) – Budapest, 1958
- Fekete, Z. (1952): Talajtan (Bodenkunde) – Budapest, 1952.
- Fekete–Hargitai–Zsoldos (1964): Talajtan és agrokémia (Bodenkunde und Agrochemie) – Budapest, 1964
- Findeisen, W. (1939): Die Kondensationskerne, Entstehung, chemische Natur, Grösse und Anzahl – Beitr. Phys. fr. Atmosph. 25. 1939
- Franke, H. (1965): Mischungskorrosion an Haarrissen – Die Höhle, 16. 1965. 3. Wien
- Franke, H. (1967): Bemerkungen zur Lösungsdynamik von Kalk – Mitteil. des Verbandes Deutscher Höhlen u. Karstforscher, Jahrg. 13. München, 1967
- Gánti, T. (1957): A barlangok keletkezésének kémiai vonatkozásai (Chemische Beziehungen der Höhlenentstehung) – Hidr. Közl. 1957.
- Gerstenhauer–Pfeffer (1966): Beiträge zur Frage der Lösungsfreudigkeit von Kalkgesteinen – Abhandl. zur Karst- u. Höhlenkunde, Heft 2. 1966. München
- Gróh, Gy. (1939): Általános kémia (Allgemeine Chemie) – IV. Aufl. Budapest, 1939
- Harrassowitz, H. (1954): Chemisches Einwirken des Niederschlages auf den Karst – Bericht von der Arbeitstagung d. Intern. Karstkomm. in Frankfurt/Main vom 27–30. 12.53. Erdkunde 8, Bonn, 1954
- Holluta, J. (1927): Die Chemie und chemische Technologie des Wassers – Stuttgart, 1927
- Jakucs, L. (1953): A Békebarlang felfedezése (Die Entdeckung der Friedenshöhle) – Budapest, 1953
- Jakucs, L. (1959): A Békebarlang gyógyhatásvizsgálatának első eredményei (Erste Ergebnisse der Untersuchung über die Heilwirkung der Fiedenshöhle) – Természettud. Közl. 1959. 1.
- Jakucs, L. (1960): Általános karsztgenetikai, morfológiai és hidrográfiai problémák vizsgálata az Aggteleki karszton (Untersuchung von allgemeinen karstgenetischen, morphologischen und hydrographischen Problemen auf dem Karst von Aggtelek) – Kandidatische Dissertation, Budapest, 1960.
- Jakucs, L. (1968/1): Szempontok a karsztos tájak denudációs folyamatainak és morfogenetikájának értelmezéséhez (Aspekte zur Deutung der Denudationsprozesse und Morphogenetik der Karstgebiete) – Földr. Ért. XVII. 1968. 1.
- Jakucs, L. (1968/2): Offene Fragen der morphogenetischen Deutung nach Plateauniveaus des Karstformschatzes des Nord-Borsoder Karstes – Acta Geographica Szegediensis, Tom. VIII. 1968.
- Jakucs, L. (1970): The Role of Climate in the quantitative and qualitative Control of Karstic Corrosion, – Acta Geographica, Tom. X. Szeged, p. 3–19.
- Jakucs, L. (1971): Dynamische Unterschiede des Verkarstungsprozesses in den Mikroräumen, Internat. Geogr. Union, European Regional Conference, Acten Symposium on Karst-Morphogenesis, p. 1–58. Hungary, 1971.
- Kádár, L. (1966): A földfelszíni formák természetes rendszere (Natürliches System der Formen der Erdoberfläche) – stenciles sokszorosítású kézirat, Debrecen, KLTE Földrajzi Int. kiadása, 1966
- Kessler, H. (1938): Az aggteleki barlangrendszer hidrográfiaja (Die Hydrographie des Höhlensystems von Aggtelek) – Földr. Közl. 1938.
- Kilinski, E. (1958): Lehrbuch der Lufterktrizität – Leipzig, 1958
- Knebel, W. (1906): Höhlenkunde mit Berücksichtigung der Karstphänome – Braunschweig, 1906
- Kyrle, G. (1923): Grundriss der theoretischen Speläologie – Wien 1923.
- Laptew, F. F. (1939): Aggressivnoe destwie wodi na karbonatnie parodi, gipsi i betoni – Leningrad–Moskau, 1939
- Lehmann, H. (1955): Der tropische Kegelkarst in West-Indien – Tagungsbericht des Deutschen Geogr. – Tages in Essen, Wiesbaden 1955
- Lehmann, H. (1956): Der Einfluss des Klimas auf die morphologische Entwicklung des Karstes – Rep. of the Comp. on Karst Phenomena. Intern. Geographical, 1956. New York.
- Lehmann, H. (1960): La terminologie classique du karst sous l'aspect critique de la morphologie climatique moderne – Revue de Géogr. de Lyon, Vol. XXXV. No. 1. 1960
- Lehmann, O. (1932): Die Hydrographie des Karstes – Enzykl. d. Erdkunde, Wien–Leipzig, 1932.
- Markó, L. (1961): Kalciumkarbonát és magnéziumkarbonát elegyek oldhatósága vízben széndioxid

- jelenlétében (Löslichkeit der Kalziumkarbonat- und Magnesiumkarbonat-Gemische im Wasser in Anwesenheit vom Kohlendioxid) – Karszt és Barlangkut. 1961. 1.
- Markó, L. (1962): A barlangi légáramlás szerepe a karsztbarlangok képződésénél (Die Rolle der Höhlenwitterung in der Entstehung der Karsthöhlen) Karszt- és Barlang, 1962. 1.
- Maucha, L. (1960): Die Nachweisen von Höhlensystemen – Karszt- és Barlangkutató, 1960. 1.
- Mándy, T. (1954): Mészkövek és dolomitok oldási vizsgálata (Lösungsuntersuchung über Kalksteine und Dolomite) – Hidr. Közl. 1954. 11–12.
- Miller, I. P. (1952): A portion of the system $\text{CaCO}_3 - \text{CO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ with geological implications – Amer. Jour. of Sci. 250. 1952. 16.
- Papp, Sz. (1954): A hidrológiai kutatás kémiai vonatkozásai (Chemische Beziehungen in der hydrologischen Forschung) – Mérnöki Továbbképző Int. kiadványa Budapest, 1954.
- Papp, Sz. (1956): A víz kémiája (Wasserchemie) – Budapest, 1956.
- Peiwe, Ja. (1961): Biohimia potschw – Moskau, 1961
- Pia, J. (1953): Theorien über die Löslichkeit des kohlensauren Kalkes – Mitt. Geol. Ges. Wien, 1953
- Reiter, R. (1960): Meteorobiologie und Elektrizität der Atmosphäre – Leipzig, 1960.
- Sachs, J. (1865): Handbuch der experimental Physiologie – Leipzig, 1865
- Schoeller, H. (1956): Géochimie des eaux souterraines – Soc. des Edit. Techniques, Paris, 1956.
- Stefanovits, P. (1959/1): A magyarországi erdőtalajok genetikus talajföldrajzi osztályozása (Genetische bodengeographische Klassifizierung der Waldböden in Ungarn) – Agrokémia és Talajtan, 1959
- Stefanovits, P. (1959/2): A talajföldrajz eredményei és feladatai Magyarországon (Ergebnisse und Aufgaben der Bodengeographie in Ungarn) – Földr. Közl. 1959.
- Stefanovits, P. (1963): Magyarország talajai (Die Böden Ungarns) – Budapest, I. Auflage: 1956, II. Aufl.: 1963
- Tell, L. (1961): The rate of erosion with special reference to the caves of lumelunda – Arch. of Svedisch Speleology, Norrköping, 1966
- Tillmans, J. (1932): Die chemische Untersuchung von Wasser und Abwasser – Halle, 1932
- Tillmans – Bömer – Juckenak (1940): Handbuch der Lebensmittelchemie (VIII. Band: Wasser und Luft) – Berlin, 1940
- Trombe, F. (1951): Quelques aspects des phénomènes chimiques souterrains – Annal. de Spéléologie. 1951
- Trombe, F. (1952): Traité de spéléologie – Paris, 1952
- Trombe, F. (1956): La spéléologie – Paris, 1956
- Tucan, F. (1933): Pogledi na gorkemiju Dinarskoga krša – Zagreb, 1933
- Venkovits, I. (1949): Leszivárgó csapadékvizek vegyi összetételének változásai (Veränderungen in der chemischen Zusammensetzung der versickernden Niederschlagswässer) – Földt. Int. Évi Jel. 1949-ről, Budapest
- Winogradsky, S. (1892): Recherches sur les organismes de la nitrification – Arch. Sci. Biol. St. Petersbourg, 1. 1892

MAJOR WEATHER ELEMENTS INFLUENCING PLANT CULTIVATION IN CSONGRÁD COUNTY

by

DR. M. ANDÓ

The whole area of the county belongs to the dry, warm climatic zone with hot summers—, in fact it is the most typical representative of it. Its yearly cloudiness is small, varying between 50% and 55%. Its winters are relatively more cloudy. Fog is frequent in the winter half of the year; in summer, however, it the most cloudless region of this country. The average cloudiness of August does not even reach 35%. The result of little summer cloudiness is an abundance of sunshine, and the area is the sunniest part of the country. The yearly total of its sunshine hours is over 2100. Its favorable sunshine conditions are most conspicuous in the summer half of the year; its winter sunshine supply is, in comparison with other regions of the Great Plain, not so favorable (*Tabl. 1.*).

The significant differences appearing during each particular year show a close connection with the cloudiness conditions of the area. In our case this appears with the August minimum and the December maximum. More considerable variation in the amount of sunshine can be observed generally in the springtime. The nearly 100-hour difference of the month of May influences considerably the development of the vegetation.

During each month the values of the total of the sunshine hours vary by about one-third in both the positive and the negative sense. From the point of view of cultivation, the values of the sunshine hours of the vegetation period are the important thing. The total of the hours of (1) average sunshine (2) most sunshine and (3) most cloudiness in the vegetation period in the mean of 20 years is

1. 1749.8 hr
2. 1841.8 hr
3. 1555.7 hr

This extremeness, which may mean as much as 300 hours, makes itself strongly felt in the vegetation period in the cultures requiring much sunshine, not to speak of the values of the extreme cases which in the average of 20 years were 2.437.4 in the year with most sunshine and 1934.0 hr in the year with most cloudiness in Szeged. In this case the difference amounts to as much as 500 hr.

The values of sunshine hours differ not only in time but also regionally within the county. The largest number of sunshine hours is found in the region

TABLE 1.

Total sunshine hours of (1) average, (2) sunniest, and (3) cloudiest months in the average of 20 years (1938–1957) in Szeged

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Annual
1.	68,4	93,9	145,1	202,3	249,4	282,5	321,6	300,7	227,8	165,5	72,4	57,4	2184,0
2.	105,3	164,0	232,7	279,9	311,0	367,6	372,4	350,1	280,9	217,5	118,3	94,0	2437,4
3.	40,8	27,1	80,0	129,4	170,6	191,1	215,6	245,8	180,2	98,1	43,2	35,1	1934,0

TABLE 2.

The extreme and differential probabilities of the monthly and annual mean temperatures on the basis of the average of 50 years

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Annual
maximum	5,4	6,3	10,3	15,4	20,5	23,6	25,8	24,4	21,5	17,5	12,0	5,9	12,8
10%	3,1	4,1	9,2	14,5	19,7	22,6	24,7	23,7	20,2	14,4	8,6	5,1	12,4
25%	-1,7	2,7	8,4	12,9	18,9	21,5	23,8	22,8	19,0	13,1	7,9	3,2	12,0
50%	-1,5	1,6	6,7	11,5	17,1	20,2	22,5	21,7	17,6	12,4	6,2	2,1	11,5
75%	-2,7	-0,8	4,9	10,9	16,0	19,3	21,1	20,6	16,4	11,2	4,5	-0,0	11,0
90%	-5,5	-3,0	2,9	9,2	15,2	19,7	21,1	19,7	16,0	10,0	3,3	-2,2	10,5
minimum	-8,7	-8,2	-0,1	8,2	12,4	17,9	19,3	18,1	12,5	7,6	0,7	-5,2	9,0
Average:	-1,0	0,8	6,5	11,7	17,2	20,4	22,7	21,7	17,7	12,1	6,1	1,6	11,5

of Szeged and in the northwestern part of the county. In the strip of land comprising the towns of Makó, Hódmezővásárhely, and Csongrád, however, the number of sunshine hours in the mean of many years is 50 hours less, and in the northeastern part of the county 100 hours less. We find the same regional distribution in the vegetation period although its importance in current plant cultivation (truck and garden cultivation, greenhouse cultivation) does not surpass the values of the yearly period. In the conditions of these cultures the number of sunshine hours in the winter period changes considerably owing to the frequency of the foggy days. In Szeged for instance 37.2 days are foggy. Their monthly distribution in the average of 15 years (1940–1954) is the following:

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
7.6	6.5	2.0	0.8	0.2	0.4	0.0	0.3	1.2	1.8	6.6	9.8

From the point of view of *temperature*, the chief climatic characteristic of this region is hot summers which finds expression not only in temperature averages but also in the great frequency of intense warmings. The July mean temperature exceeds 22 °C. It is here that *the greatest number of summer days* (85–90 on average) occurs and also the greatest number of hot days (over 30). Long, warm falls are characteristic. The daily mean temperature sinks below 10 °C only after October 25, and the first fall frost occurs between November 1 and 5. The winters are moderately cold, the mean temperature of January is around –1.5 °C, the number of winter days varies between 25 and 30 days. In spring the daily mean of the temperature rises above 10 °C already between April 5 and 10 and the last frost in the area occurs between April 5 and 10.

The extreme air temperatures and the so-called cold and warm years and seasons are not at all indifferent from the point of view of the crop yields. A year is considered a cold year if the yearly mean of its temperature remains below 10 °C. Warm years are those with a yearly temperature average of 11.5 °C and a mostly mild winter. The cold and warm years generally occur in succession. The warmer period of about 4–5 years is followed by a relatively colder period of 1–2 years. The colder years usually go together also with a larger amount of precipitation. In the relatively cold years a generally cold spring is the rule, while the values of the summer and fall seasons do not show low temperatures. The explanation for this phenomenon is to be sought in the lower temperature and more precipitation of the winter. Its influence on the agriculture, especially in delaying germination, can be felt in a still greater degree.

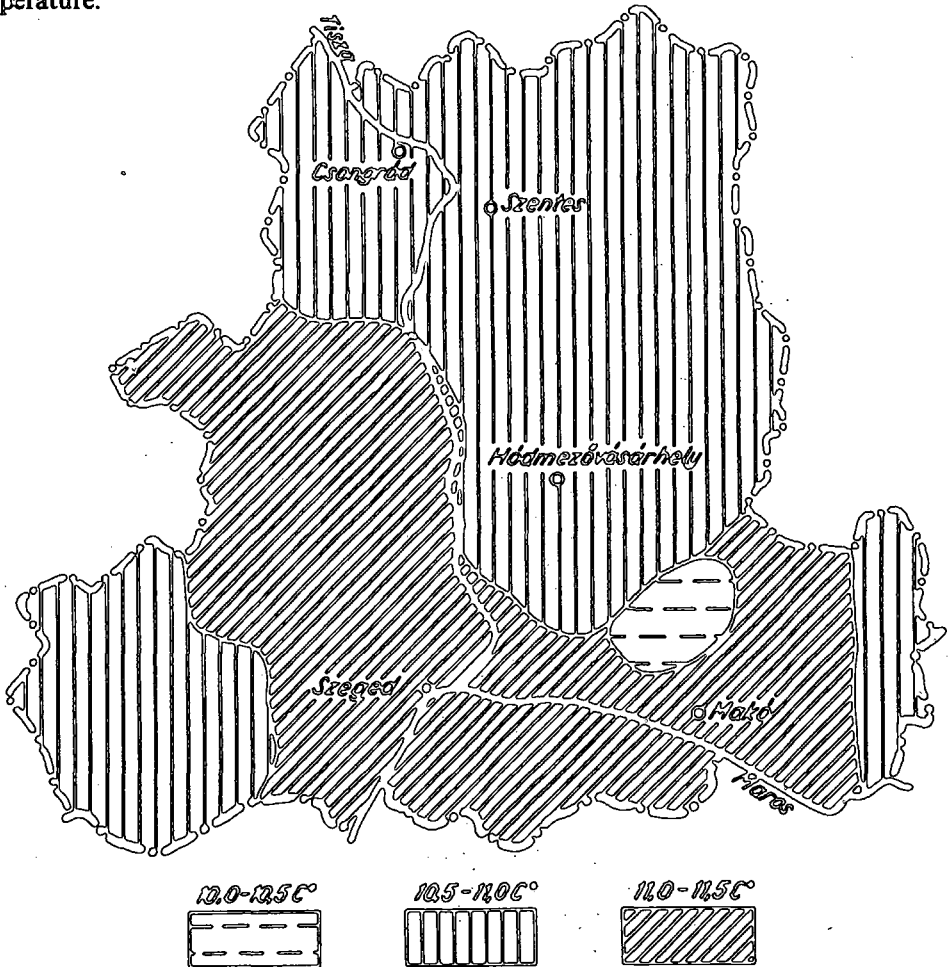
The temperature values in the fall period indicate a climate of submediterranean character, although microclimatically we also find climatic peculiarities of mediterranean character. Some differences of temperature occur also as a result of local effects. These factors create peculiar conditions within the small landscapes.

The limit values of the temperature extremes and those of the monthly and yearly mean temperatures of the different probabilities show well the extremeness which on the basis of Szeged's data over 50 years can also be applied also to the area of the country (Table 2). It can be seen that the maxima and minima reach considerable magnitudes on the basis of the percentile frequency values, and knowledge of this is very important for cultivation. The area under discussion represents the so-called warm *sand steppe* type with continental values where the temperature conditions are suitable for a culture with a high heat requirement.

Long autumns are frequent in the area of the county, and this is favorable for the ripening of the late and afterseed plants. Also frequent are the winter seasons when the average temperature hardly sinks below 0 °C, but it also occurs

that on bleak days without snow cover the air temperature sinks below -25°C . Owing to the early spring and quick warming the temperature of the soil and the air reach an average value of $9-10^{\circ}\text{C}$ already in April.

On the basis of monthly and annual mean temperatures three microregions may be distinguished in the area of the county (Fig. 1). The southern part of the county is the warmest but there are no great differences of temperature between the microregions. In the territorial distribution of the temperature of the vegetation period only a difference of 1°C can be found in the average temperature.



1. ábra. Annual mean temperature ($^{\circ}\text{C}$) (Average of 60 years)

The value of the temperature of the area in the average of many years varies between $17.8-18.6^{\circ}\text{C}$. The average temperature of the summer half of the year is 18.1°C , which corresponds to about 3340°C heat total. (The annual heat total is 4263°C .)

In the whole country the period between the first frosty day and the last frosty day is the longest in the county of Csongrád (210 days in Szeged), and

this is particularly favorable for cultivation. It can be seen from the averages of many years that the frosty days are frequent before April 5, there are hardly any between April 5 and 30, but even if there are some between May 1 and 10, they are very rare and they do not occur after the eleventh of May. Fall frosts occur rarely between October 10 and 25, and frequently after October 25.

The prevailing wind in this area is northwestern, while the second most frequent is southeastern, which appears most often in the spring months. The relatively greater speed of this circulation suggests that it is connected with the „kossava”, the often stormy southeast wind at the lower course of the Danube, which at the southeastern border of the country belongs to the more vigorous winds although it loses much of its strength.

The valley of the southern course of the Tisza constituting a considerable part of the county has, as compared with other areas, peculiar wind conditions. Lower barometric pressures and the frequency of NW—N and S wind directions are characteristic here. (Table 3.)

TABLE 3.

The average frequency of wind directions in %

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Calm
I	16,5	8,3	6,1	12,8	17,0	9,5	10,0	14,9	4,9
II	14,8	8,2	5,1	12,6	17,8	10,7	12,1	15,5	3,3
III	14,5	7,0	5,4	11,9	20,2	10,5	11,3	14,7	4,5
IV	15,4	7,8	6,0	11,0	18,6	10,4	11,7	15,6	3,5
V	15,2	9,6	6,9	11,2	16,4	10,5	11,3	13,7	5,2
VI	19,2	7,6	6,3	8,2	13,0	9,1	12,9	19,2	4,5
VII	17,0	7,5	4,9	5,8	11,1	8,1	15,3	24,1	6,2
VIII	16,4	7,4	6,1	8,5	11,3	8,3	12,9	22,3	6,8
IX	15,2	8,1	6,6	13,3	14,6	8,8	10,4	16,1	6,9
X	14,5	8,0	6,6	12,7	20,1	9,2	9,7	13,3	5,9
XI	13,7	8,0	7,0	13,9	20,7	10,3	8,8	11,8	5,8
XII	14,1	8,3	6,3	13,9	19,3	9,8	10,8	12,5	5,8
Annual	15,5	8,0	6,1	11,3	16,6	9,6	11,4	16,2	5,3

The percentile frequency of the N and NW wind directions can well be seen from the table. This also means in practice that two air-mass conditions quite different from each other in their influence on the humidity conditions of the area are prevalent. This is because the area gets the largest amount of precipitation, on annual average about 160 mm, in the case of NW winds. Similarly considerable is the precipitation brought by W winds, about 150 mm on annual average, while N winds bring only 80 mm. The smallest amount of precipitation is characteristic here of the S and SE winds or air masses (36,5 mm). In the case of these latter the föhn or dry chirook effect makes itself felt very strongly. The dry desiccating wind causes atmospheric dryness which is especially harmful in the vegetation period. At such times evaporation increases considerably and strongly affects the physiological processes of the plants. As important cultures on sand must also be taken into account, the intensity of the air movements is not indifferent; protective measures must be taken against deflation, surface reshaping and other similar damage. The following table gives a survey of the wind intensity. (Tabl. 4.)

TABLE 4.

Percentile frequency of winds stronger than 3 degrees on the Beaufort scale (on the basis of the average values of many years)

N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
9,3	10,2	5,8	6,8	14,9	6,3	20,4	26,3

The value limit of 3 degrees on the Beaufort scale was chosen on the ground of the consideration that air movements stronger than this are already important in the reshaping of the ground surface. Winds stronger than this most often belong to the NW–W directions. In this case, however, the reshaping of the surface becomes insignificant with the air movement combined with precipitation. The same cannot be said in the case of the *southerly* winds, when the more vigorous air movement reaching a high percentage and usually combined with a dry period, causes serious damage by the destruction of the surface, increased evaporation, atmospheric dryness, etc.

A very important meteorological factor of agricultural production is precipitation. It has been ascertained that since the turn of the century precipitation in the area has shown a growing tendency. In comparison with the first decades of the turn of the century the spring, late fall, and early winter months have become dryer, and the other months relatively more rainy. Of course this manifests itself only in great generality. However, independently of this phenomenon we must consider the epithet *extreme* valid also further which in the course of the individual years manifests itself in great differences in both quantitative and temporal respects.

The average yearly rainfall in the region of the mouth of the river Kőrös is only 500 mm, but at the mouth of the river Maros 580 mm (*Tabl. 5.*). The rainiest month in the area is June when the normal amount of precipitation is

TABLE 5.

Precipitation in mm (Average of 50 years)

Period	Csongrád				Makó			
	average	maximum	minimum	75%	average	maximum	minimum	75%
I.	29	53	1	14	31	93	4	19
II.	30	82	1	13	33	114	1	16
III.	31	89	0	10	35	79	2	15
IV.	45	149	3	23	45	106	2	24
V.	58	129	8	34	60	206	13	35
VI.	59	142	9	37	75	178	11	51
VII.	46	158	2	20	50	165	3	25
VIII.	50	164	1	26	48	139	5	31
IX.	42	101	2	22	47	125	4	29
X.	46	147	0	17	49	160	4	22
XI.	48	127	2	23	50	139	2	22
XII.	36	161	7	17	42	108	8	23
Annual total	520	760	307	432	565	794	371	494

Hódmezővásárhely			Szentés					Szeged			
average	maximum 75%	minimum	average	average	maximum	minimum	75%	average	maximum	minimum	75%
31	133	2	16	31	102	1	16	32	111	3	19
31	130	0	16	33	107	0	15	34	126	1	18
34	90	1	15	33	92	1	13	38	104	2	16
48	125	5	26	47	185	9	26	49	135	6	29
60	175	11	37	61	159	8	37	61	197	11	37
67	184	6	44	62	139	8	47	68	129	19	46
51	131	0	30	46	148	2	24	51	112	6	22
50	124	6	27	50	151	6	32	48	131	4	28
48	141	1	29	44	120	2	24	47	127	3	27
46	135	5	22	47	146	2	17	52	138	3	21
47	123	4	20	49	145	5	24	52	142	3	21
42	121	9	23	39	121	10	21	41	105	11	24
555	913	397	487	542	937	394	474	573	867	348	466

60–70 mm, and the driest month is January when the normal amount of precipitation is 30–50 mm. The autumnal secondary maximum can be well demonstrated in the temporal variation the precipitation and submediterranean rainfall regime (*Tabl. 6.*). There is much rainfall in late spring and early summer, but

TABLE 6.

Average precipitation (mm) in different pentads between 1890–1960 in Szeged

Pentads:	1	2	3	4	5	6
January	4,7	6,1	5,9	7,6	4,1	5,1
February	7,2	7,0	7,2	5,1	4,4	3,5
March	6,9	7,5	5,1	3,2	5,0	9,6
April	6,3	7,9	8,6	9,9	8,3	8,0
May	11,9	11,8	9,1	8,8	10,5	13,8
Juni	12,7	10,4	13,2	11,3	9,5	9,0
July	10,0	9,3	9,5	8,0	9,1	8,8
August	8,5	8,6	8,9	6,0	6,9	7,5
September	8,4	5,2	9,7	6,3	6,1	7,7
October	7,2	8,6	6,8	6,3	7,5	13,4
November	8,5	8,3	7,1	9,5	6,8	5,5
December	6,8	6,6	7,2	5,9	5,0	8,1

at the same time the occurrence of periods poor in rainfall may also be well observed on the basis of pentad values. These periods with little rainfall occur mostly in early spring, midsummer, late summer, and early autumn. In the evaluation of our table the autumn period and the more considerable rainfall of early winter due to mediterranean influence deserve special attention.

TABLE 7.

The probability of precipitationless periods (1) longer than 5 days, (2) longer than 10 days in 1936-60, % (Szeged)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1.	17	21	28	17	14	17	32	30	39	30	19	20
2.	4	7	12	5	4	2	11	12	15	11	6	6

The following table proves occurrence of the dry period (*Tabl. 7.*).

Dry periods are frequent in March, July, August, September, and October, and the lack of rainfall badly affects cultivation.

In the second half of the summer the probability of the occurrence of long rainless periods increases considerably in comparison with other regions of the country. For instance in the evaluation of the rainfall data of Szeged between 1871 and 1960 it was found that the probability of a lack of rainfall for at least 10 days is 10% in July and 13% in August, whereas the probability is 4% and 6% in Debrecen, 6% and 8% in Budapest, 4% and 6% in Keszthely, 5% and 6% in Mosonmagyaróvár. From this the conclusion may be drawn that the area has a great propensity to drought in late summer, generally double as great as can be seen from the rainfall data of 90 years at the places mentioned. The winter is poor in snow, the number of days with snow cover varies between 33 and 36, and even winters with no lasting snow cover are frequent. In the case of Szeged, for instance, we can expect that there will be no more than 3 days with snow cover. In spite of this a lasting snow cover may form in cold winters owing to the relatively more abundant winter precipitation. A winter has also occurred in Szeged when the ground was covered by a snow layer for 76 days.

On the basis of both the annual values and the values of the vegetation period it can be ascertained that in the succession of the years three years out of every four are relatively poor in precipitation. Scarcity of precipitation occurs especially in the summer period. In winter no larger amount than 40-54 mm of precipitation can be expected around 15% frequency. Of course amounts larger than 100 mm also occur, but they do not represent more than 2-3% of the cases. In the spring months, if we take a 15% frequency into consideration a precipitation of 60-90 mm falls; of course 160 mm of precipitation also may occur.

In the summer period the amount of precipitation varies considerably; the 15% value limit means 80-90 mm of precipitation; in the extreme cases on the other hand there is more precipitation in comparison to the former. The 15% probability value of the autumn months means about 60 mm of precipitation. As to the amount of precipitation, there are larger amounts in the warmer half of the year (in summer) than in the colder half. On the basis of experience gathered over several decades we know for instance that precipitation larger than 20 mm can be expected between May and October. Large precipitation yields in a short period are chiefly characteristic of July and August, which are known to be dry. The summer precipitation occurs chiefly in the form of showers, but destructive storms are not very frequent. The more frequent are hails; in the summer months we may reckon with a probability of 31-50%.

As we have seen from the above, the 560 mm of precipitation that fell on

the territory of the county is too little for cultivation and is unevenly distributed. Even besides the favorable temperature conditions the rainfall is unsatisfactory for plant cultivation. The low relative vapor content of the air (66%) in the vegetation period makes the situation even worse. Taking the optimal heat and precipitation requirement of the major cultures of the area into consideration we come to the conclusion that the temperature conditions are *very favorable* making possible the cultivation of plants with high heat requirement (vegetables, tomatoes, paprika), while the precipitation conditions are *unfavorable* for cultivation and cultivation can be made economic only by irrigation.

Our table containing the optimal heat and precipitation requirements of the more important agricultural plants and the temperature and precipitation values of the average of many (50) years shows well the favorable and unfavorable climatic conditions *Tabl. 8*). The precipitation deficiencies visible in the climatic data must be compensated by irrigation.

TABLE 8.

The optimal heat and precipitation requirements of the more important agricultural plants and the annual average in Csongrád county

Months:	IX	X	XI	XII—II	III	IV	V	VI
Average of 50 years Temperature in °C	17,5	11,8	5,8	3,1	6,3	11,5	17	20,2
precipitation (mm)	46	51	51	104	37	49	60	67
Wheat								
Optimal temperature in °C	18,7	10,5	6,5	—0,3	4,6	9,6	15,5	18,7
precipitation (mm)	52	38	20	71	26	51	83	64
Rye								
Optimal temperature in °C	18,6	10,5	6,3	—0,3	5,7	9,4	15,4	19,6
precipitation (mm)	50	34	54	75	22	45	86	62
Months:	IV	V	VI	VII	VIII	IX		
Average of 50 years Temperature in °C	11,5	17,0	20,2	22,4	21,5	17,5		
precipitation (mm)	49	60	67	49	47	46		
Maize								
Optimal temperature °C	11,2	18,1	19,9	23,2	21,2	18,4		
precipitation (mm)	49	81	58	57	57	45		
Potato								
Optimal temperature °C	10,5	17,5	19,1	21,9	21,0	16,5		
precipitation (mm)	39	75	70	65	57	48		
Vegetables								
Optimal temperature °C	60	90	100	110	110	100		
Meadow pasture								
Optimal precipitation (mm)	60	70	70	90	90	70		

Literature

1. Andó M.; 1959: Mikroklamatikus sajátosságok a Tisza-ártér déli szakaszán. Földrajzi Értesítő 8. 309–336.
2. Andó M.; 1969: Climatic and microclimatic peculiarities of the Tisza and its inundation area. Tiscia. Szeged. 5. 15–36.
3. Andó M.; 1964: A DK-Alföld természetföldrajzi adottságainak jellemzése. (Kandidátusi értekezés) Budapest, kézirat.
4. Bacsó N.; 1959: Magyarország éghajlata (Akadémiai Kiadó, Budapest).
5. Láng S.; 1964: Természeti földrajzi tényezőink jelenlegi működése. Akad. Dokt. ért. Budapest, (kézirat).
6. Péczeli Gy.; 1969: A Tiszai Alföld. Budapest, Akad. Kiadó. p. 304.
7. Országos Meteorológiai Intézet évkönyvei. OMI időjárási napi jelentések. Budapest.
8. Magyarország éghajlati atlasza. II. kötet adattár. Budapest, Akad. Kiad.

THEORETICAL AND METHODOLOGICAL PROBLEMS OF ECONOMIC MICROAREAS

by

DR. GY. KRAJKÓ

Up to now the research of economic areas (the epithet „economic” will in the following be omitted for the sake of simplicity) has mainly been concerned with theoretical, practical, and methodical problems of the mesoareas. This is understandable because economic planning and geographical investigation of the country required it. The development of the social division of labor and its increasing territorial specialization requires of the researchers to investigate the peculiar features, conditions, and differences also on the level of microareas. At the same time with the emphasis on area development, the results of the investigations can be used in practical life to an ever greater extent. These facts are sufficient justification for us to give our attention to the economico-geographic investigation of the microareas.

This study is a summary of the theoretical and methodological experiences of the investigation of microregions in the southern part of the Great Plain. The first part contains chiefly theoretical problems; the study that will appear as a continuation will contain methodological analysis.

The theoretical problems are grouped round three themes; the concept of microareas, their importance, and the factors determining their boundaries.

The concept of microareas

It follows from the territorial differences in the social division of labor that in the system of integrant economic areas levels and grades develop that differ from each other not only in order of magnitude but also in function. The number of the taxonomic grades depends on the size of the country in question, the state of development of the social division of labor and the territorial differences. Determination of the levels and marking out of the boundaries are especially the problems provoking debates.

Definition of the objectively existing basic unit of economico-geographical research is an important problem that cannot be bypassed, but the debates about this subject have as often as not been futile, diverted attention from the chief

problems of area research and to many observers gave the impression as if the main goal of area research in geography were the definition and discovery of ever newer territorial units.

It needs no long argumentation that in the research of economic areas the delimitation of the areas is not an aim but only a means for the investigation of the social division of labor and the territorial differences in the processes connected with it. By the way an attempt will be made in the following to prove this in practice. In fact this is the starting point for marking out the boundaries and differentiating the taxonomic levels.

If the content aspect of the area is disregarded, then theoretically but also practically no lower limit can be set to the territorial division and thus division can go on indefinitely, even as far as the level of the agricultural cooperatives or further to the strips of land. In this case the author cited earlier would be right, but the functions of the areas set limits to this kind of subjectivism.

In case of further division of the microareas the areas would lose their integrant character and would represent only areas of some branch of economy. Therefore the microareas are the smallest territorial units of the geographical division of labor that still have the most important content functions and formal marks of integrant economic areas.

In principle, this definition comprises the taxonomic place of the microareas, the lower limit of areas, but it does not refer to the differences that separate them from the higher levels. It is far more difficult to draw the separating line theoretically or practically.

In approaching the problem we must start from the fact that the taxonomic grades of the areas differ not only quantitatively (i. e. in area, scale of the branches of economy, etc.), but also as regards the problems connected with the complex development of the area and as regards their functions. The proportion and importance of the microareas in the national economy are smaller than those of the mesoareas; hence their economic and trade relations are also scantier. Thus it is utterly impossible that interdependent production relations with all even-ranking units of the country should develop on a larger or smaller scale or that production relations on a large scale should be established. In the case of the subareas this is already possible, and in the case of the macro- and mesoareas it is a characteristic feature.

The top level of the microareas may be determined on the basis of their role in the geographical division of labor; and this is not dependent on the dimensions of the area. Although the microareas are constituent parts of the territorial division of labor in the country, this is often of a transposed character. Usually it is the integration of several microareas that constitutes a territorial production complex on a wider basis. Thus the dimensions of the microareas are determined by the territorial peculiarity of the social and economic processes of an area of a higher level. The concept of economic microarea can be summarized as follows: It is the smallest territorial unit of the geographical division of labor that still possesses the most important properties of the integrant economic area; it is specialized, it is territorially identical with, or a constituent of, a territorial production complex, within a narrower framework it is part of the nationwide division of labor, it has developed its own economic center and its peculiar economic and social life, which serves as an objective framework to the analysis of the complicated processes of the territorially very peculiar economic and social life.

Thus in theory the lowest and the highest levels of the microareas can be determined, and in practice the definition of these microareas is at the same time taxonomic differentiation.

The practical importance of the microareas

1. The economic areas, among them the microareas, are essential units in geographical research. Regional economic geography is not an independent discipline, but in its method it differs from the research of branches of economy in that it emphasizes systematic investigation of the interrelations of economic and social processes and natural conditions. Of course not even the geography of the branches of economy describes the different branches in isolation, independently of the above-mentioned factors, but stressing the characteristic properties of these branches, while regional geography, taking account of the results of the research of the economic branches, concentrates on the territorial relations and peculiarities of the economic branches which may vary from region to region. For instance in a little industrialized area of the Great Plain the development of an industrial center may start a chain of relations that can be explored only through detailed analysis of the territorial unit.

The industrial development of Szeged is in many respects in harmony with the agriculture as this latter provides a significant proportion of the raw materials, but it influences the structure of the industry and carrying much of the effect of the natural factors it spreads on according to the well-known pattern of the interrelation of the two branches of economy.

In consequence of industrialization the mobility of the population changes. After the absorption of the manpower reserve of the town the manpower-supplying area expands more and more. The localities more favorably situated from the point of view of transportation participate in the process later, and so the number of the commuters is also higher. This usually influences the demographic indexes favorably. Migration of the population also shows a peculiar territorial picture. Streaming toward the towns is expressed in the fact that when the populations of neighboring localities are exchanged, more people settle in the more favorably situated locality than the opposite way. For instance, more people moved from Tiszasziget to Újszentiván than the other way round and from the latter to Szőreg. The balance of the migration of the population of the localities toward the industrial centers is becoming active, and this is favorable for the demographic balance. The rate of relayering of the agricultural population also depends to a considerable extent, besides local industry, on the attraction of the town, the transportation conditions, etc. From this it follows, however, that there is not enough manpower in the agriculture to develop the intensive town-supplying cultures formed near the towns, and the cultures of high work intensity whose mechanization is unsolved or expensive are pushed farther and farther away from the towns, for instance sugar-beet cultivation, plowland vegetable cultivation, etc. This example, which is far from complete, is intended to show what territorial relations and processes shape the inner economic life of the microareas. In the research of the microareas we must concentrate our attention on these peculiar processes besides the local natural and social conditions because without their knowledge it is difficult to outline the probable trends of development. It is difficult to explore all the peculiarities of these processes in the higher-level areas

where the details are lost, while the microareas afford an ideal framework for this.

2. Relationship between economic areas and area development.

Area development as an indispensable means of the development of the national economy and the realization of other practical objectives has been given special attention in the economic policy of the last years. The theoretical and practical problems of area development are in harmony with the content tasks of economic area research in consequence of which the latter provides very much useful scientific material for regional planning serving area development.

The principles and objectives of area development are in contact with or meet area research formally or contentwise on many points. Basic principles of area development are the following:

a) Rational territorial arrangement of the forces of production of the country with consideration of the local conditions and peculiarities. The specialization of the areas is based on the favorable local conditions, but as they constitute parts of the territorial division of labor in the country, their development must be in harmony with the needs of the country and the trend of the development of its forces of production. The conditions of the microareas changing in time influence the social and economic development of the given area and are always relative: therefore they can be evaluated in connection with different or similar conditions of other areas. Thus the main trend of development of no economic area can be determined independently of the rest and only on the basis of its own resources.

This can be done only with knowledge of the national and international division of labor and in accordance with it. One objective of territorial development is to ensure a rational territorial distribution of the forces of production coordinating the development based on local conditions and the national interests.

b) Reduction of the differences of development between the economic areas, elimination of the irrational territorial inequalities of production, and solution of the social and political contradictions deriving from it. The conditions of the economic areas are different. From this it follows that the producing capacity of the country cannot be divided equally. In creating rational territorial proportion the point is not that the historically developed territorial differences in the country should gradually disappear independently of the local conditions or that the highly developed central area should give over certain branches of industry in the form of „relief”, but every effort must be made to maximally explore and exploit the resources of each area. Each economic area possesses some favorable qualities in comparison to the others, the exploitation of which provides a possibility to reduce the territorial differences, although they cannot ever be entirely eliminated. The aim of area development serving the organization of a rational territorial division of labor is to ensure a faster rate of economic development in the more backward areas so that this should be in harmony with both the local conditions and the needs of the country. The same applies also to the microareas since between them, too, there is a peculiar territorial division of labor. While at the highest level there is development toward equalization, in the case of the microareas reduction of the territorial differences and inequalities is not necessarily justified, and in some cases specialization may even increase. Again, the differences in economic level must not be considered only from the point of view of one or more branches of economy, for a well

specialized, highly productive agriculture at the level of microareas is of the same value as industry. Thus the territorial inequality in industry does not necessarily lead to unequal development of the other branches of economy, and conversely, the differences in economic development at the level of microareas can be reduced not only by the development of industry.

c) Besides developing the correct national proportions it is very important to establish the proper proportions of the inner branch of the economic area. As we have seen, the measure of the development of specialization cannot be determined only on the basis of the local conditions, as these are basic parts of the national division of labor. On the other hand, there are many branches of production of local importance that add to the complexity of the area. A reasonable ratio of the different branches of economy and the complex development of the area can only be ensured within the framework of a regional plan.

Establishment of the harmony of territorial and branch development. Development of one or another branch within an area is not identical with area development. The principle of the area and the principle of the branch of economy often manifest themselves and can be coordinated through contradictions. The lack of harmony of the two factors may lead to various kinds of anomaly. For instance, excessive development of the auxiliary industries of the cooperatives and of many local industries in the southern part of the Great Plain has absorbed the manpower reserves and caused manpower shortage in the industry. This makes rapid expansion of the branches of industry with optimal conditions difficult, which is disadvantageous not only for the country but also for the area, for rapid development and increase in productivity would be ensured just by these branches of industry (food, light, machine, and chemical industries). Frequently the reverse of this is found when emphasis is laid on the development of only a few branches of industry and the accessory developments are late or not carried out at all.

Preferential development of a few branches of economy influences also the other branches and hangs together with the transformation of the infrastructure of the area. Rational use of the natural and social resources of the economic area requires harmony of the development of the different branches of economy and of the whole area. This can only be ensured by a regional plan, the framework of which would be territorial units formed by practical life that are the microareas (or subareas).

d) Development of the network of settlements in accordance with the forces of production. This is carried out on the basis of regional plans and differently in the different settlements, depending on its present or intended future role. Investigations of the population and settlement geography of the economic area provide indispensable material for this. Investigation of the field of attraction of the settlements, analysis of the mobility of the population, etc., would be helpful not only in defining the boundaries of the areas, but as important content problems of the microareas, they would help us understand also other phenomena and work out the conception of the area development.

e) Surveying of the internal and external relations of production within a unit of area development and ensuring the necessary traffic system. This, too, is a task connected with the objectives of area research. Not only in the case of meso- but also of microareas it is very important to investigate all the relations of the areas. Investigations of traffic geography are helpful in organizing rational relations and making long-term plans.

f) Exact survey of the natural and social resources of the area. It appears

also from the foregoing that the practical use of area development is in the local conditions that the different economic areas possess. Full assessment and surveying of these conditions is beyond the task of geographers, but it is just the geographers of all experts who can give most help in laying the scientific foundations of regional planning.

g) The grades of the economic areas serve as an objective framework to area development (or regional planning summing up the problems connected with it). The regional plans sometimes cover several microareas, for instance the regional plan for the valley of the Danube or the valley of the Tisza. This does not contradict the previous thought as area development in this case, too, makes allowance for the differences and can rely on the investigated and summarized physical and economic geographical assessment. It is practical to consider together the following microareas of the southern part of the Great Plain for regional planning:

the valley of the Danube, which comprises two microareas, that of Baja and that of Szekszárd; Kiskunság, which comprises the microareas of Kécskémét and Halas; the valley of the Tisza, which comprises the microareas of Szeged, Szentes, and Szolnok.

And finally the area of Békéscsaba can be coupled with that of Orosháza. (Within this the problem of Sárrét is a separate issue.) The units of planning thus formed are connected with areas with similar problems of development and possibilities.

The points enumerated are the most important points of contact where economic area research and area development meet. The taxonomic grades of the areas are not built upon each other pyramidlike (this is a much more complicated system), yet the investigation of the smallest units, the microareas, helps in constructing the whole system, and as we have seen, can be brought into harmony with the objectives of area development.

Major factors considered in microarea research and definition of boundaries

The research of microareas can hardly be separated from the determination of boundaries.

The two things are closely connected as it is impossible to speak of territorial units without determining their boundaries, and conversely, determination of the boundaries in the final analysis supposes a thorough knowledge of the areas. Thus for practical purposes the same factors must be considered for both things.

1. The microareas and specialization

In all grades of the integrant economic areas specialization of production appears as an indispensable requirement. Social production develops as the unity of the contrary processes of specialization and cooperation, which take place under regionally different natural and social conditions. That is to say social production becomes differentiated according to the different areas and branches of economy. This process takes place at the level of the microareas just as in the other taxonomic units. Of course the roles of the ratios, conditions, and

specialization are not identical, but on all levels they are the most important criteria of the economic area.

Specialization in the microarea is in some respect narrower than on higher levels because it represents only a part of the production profile of the meso- or subarea; it is also wider, because even such branches of production may appear as profile as lose their role at the higher levels. Similarly, the number and ratio of the branches of economy are different. The proportion of the branches of economy representing specialization generally has higher values than at the higher levels.

In the case of the production profile of the microareas, similarly as at the higher levels, the quantitative aspect can also be expressed numerically (with the least distortion by the net production value per head or the regional or national ratio of it). Unfortunately, these statistical data are not always available, so we are obliged to use other indexes such as the number of workers, investment stocks, capacity of machinery, use, electric energy, etc.

The qualitative expression of specialization, however, is not free from distortions and the smaller the area to which it is applied, the more we must reckon with this fact. Thus the data connected with it are often only good for illustration, but they afford no opportunity for discovering deeper relationships. In fact, the quantitative aspect alone cannot even be used in every case for registering the fact of specialization. Therefore our attention must be extended also to the functional analysis of specialization. This comprises the following points:

- a) what is the role of specialization in the complex of production,
- b) what are its natural and social conditions,
- c) how is it connected with the trend of the development of the given area, and what is its role in it.

Investigation of these aspects is a very important part of area research (unfortunately statistical data relating to these are most difficult to obtain) and at the same time it leads us to a better understanding of the area.

2. Regional production complexes

Specialization of the branches of production does not take place independently of each other, but together, in close interrelation. None of these branches of economy exists alone, without regional, interrelations. The interrelations are sometimes very loose, not going beyond common use of the manpower, electric energy supply, and infrastructure of an area. On the other hand, cooperation in production using all the advantages of local conditions often develops. The regional production complexes give the essence, the most important content feature of the economic areas, and without them there can be no grade of the integrant area. At the same time we must see that the two concepts cannot be identified and cannot replace each other. The existence of the production relations in space together with all its correlations (the effect of the natural and social factors, their rationality, etc.) does not qualify as the criterion of economic areas. The economic areas of different grades are not only units of production, but also units of consumption and they serve as scenes for the development of the social processes and many human activities. These correlations manifest themselves especially within the microareas, the investigation of which leads us to another subject, the problems of the sphere of attraction.

The structure of the regional production complexes, its character, territorial extension, and the depth of the correlations are determined by the branches of economy constituting the specialization.

Even the branches of economy not belonging to the specialization are integral parts of the production complex, and together with the former constitute the economic structure of the area, but the roles of these branches are different (usually they are connected with other branches of industry or they serve the immediate needs of the population), and as they have mostly local importance, their external relations are much weaker. For instance brick-making, bread-making, etc.

The branches of industry mentioned here are important elements of the development of the microareas but they do not determine the character, main trend, rate, etc. of the have development; thus their area-forming role is negligible and they are not significant in the definition of the area boundaries. In spite of this their investigation cannot be neglected, as on higher levels their proportion and importance are often small and not clearly perceptible.

The factories and affiliated firms transferred from the capital to the countryside have very loose connections with the production complexes. They export all their products from the area and are usually connected with the microareas only where the use of manpower is concerned. They favor the industrial development of a given area, and their effect must be reckoned with accordingly.

In the southern part of the Great Plain the most common are the production cycles of the food industry which are not confined within the boundaries of a particular microarea, but in spite of the overlappings they do not obscure the areal production concentration. In spite of their diversity their base of raw materials can be summarized and territorially differentiated on the basis of indexes of intensity. Thus the chief raw material-supplying areas of the food industrial centers can be delineated. The areas of the branches of production so defined are a powerful help in analyzing the production complex and drawing the boundaries of the microareas.

Even in agriculture regional complexes form which attract smaller areas but are in their totality important elements in the profile of the areas. (For instance closed-cycle pig complex, wine complex, or other cooperatives.)

In the case of the branches of light industry a closed cycle like the food economy develops only rarely within the microarea. Similar is the case of the heavy industry of the southern part of the Great Plain.

The regional concentration of industry in the southern part of the Great Plain is relatively low. Industrial centers have developed only in Szeged and Békéscsaba, while in the other towns there are only smaller or larger industrial establishments. As a consequence of their rapid development, however, they have a great influence on the settling of the area, the changes in the population, etc.

In determining the boundaries of the areas we must take into consideration (a) the regional production relations, which, starting from the centers, decrease in intensity with increasing distance from them, and (b) the influence of the industrially developing settlements on other branches of economy and social life.

3. The relations between the areas of the economic branches and the microareas

It needs no detailed explanation that the area of a given economic branch differs from the integrant economic area in respect of its role, content, and form. What is most characteristic of the relation between the two is that in the industrial, agricultural, transportation and population areas the determining role is played by the most dynamically developing branch of economy, i. e. industry. This is the case also with the southern part of the Great Plain, but on lower levels in some microareas (those of Kalocsa and Orosháza) agriculture is still the leading branch of economy. The foregoing makes it impossible for us to consider the integrant microareas as a mechanical summing up of the areas of the economic branches, not to speak of the fact that such a fusion is impossible on account of the different sizes of the areas and the different qualities of the components. But it is not even necessary, because the destination of one or another microarea and that of the integrant microarea is different.

The areas of the branches of economy which reflect the regional structure and laws of production according to the branches of the national economy have a very important role in determining the profile of the microareas and revealing the relations between the branches of economy. In marking out the boundaries where there is overlapping (and this is most frequently the case) we always take the criteria of the leading branch or branches of economy together with the prospects into consideration as a basis and subordinate the rest to this. In the case of the microareas, as has been mentioned above, the role of the leading branch of economy may be different in each case.

4. The influence of the natural factors and the microareas

The direct and indirect influence of the natural factors on the development and extension of the microareas is very complex and diversified, and depending on the plans of development one or another element of it comes into prominence.

There are no significant relief or climatic differences in the southern part of the Great Plain, the territorial peculiarities being chiefly represented by the soil, hydrographic conditions, and the geological formations. The relation between the soil and the agricultural cultures, in a wider sense the food economy, is well known. It is understandable that while between the division into microareas and the climatological or morphological maps there are no common traits, there are many common traits, territorial similarities, with the soil maps. This does not mean that the former two factors are neutral from the point of view of economic life, only their effect is indirect.

With the industrial development of the country and the multiplication of the problems, hydrography has been given greater attention. Thus the surface and underground waters have become one of the most important factors for the foundation of industries. In the southern part of the Great Plain there are three microareas (the valley of the Danube, the microarea of Szeged, and that of Szentes) where it is relatively easy to solve the problems of water supply and where industries with high water requirement can be established.

With the building of the barrage on the lower Tisza and the Danube — Tisza canal as well as the use of the underground waters, a considerable part of the southern Great Plain will become irrigable. This implies great possibilities,

the exploitation of which will transform our present conception of the microareas. Connected with this is the increased exploitation of thermal waters (combined with gas heating. This is by far not all concerning the relation between hydrography and the areas. Other examples could be enumerated such as the development of crossing-places, the configuration of the transportation network or the establishment of several industries (sawing, hemp, match industries, etc.) each of which constitutes an indispensable mosaic piece in the research of microareas.

The recently discovered hydrocarbon field in the southern part of the Great Plain has basically changed the energy balance of the area, partially influenced the structure of industry, and in some microareas stepped up the economic development. The exploitation of crude oil and natural gas in the Great Plain affords many possibilities also for local use in spite of the fact that the larger part is exported.

Economic evaluation of the natural factors must be made even in this case if they do not influence the determination of the boundaries, for the main trend of the development of the microareas cannot be determined without them.

5. The relationship between the microareas and administration

In the relationship of the economic areas and the administrative division it is the former that theoretically receives the determining role. Therefore, if they do not coincide territorially, the latter must be modified, i. e. adjusted to the economic area. In practice, however, the unity of the two systems is not so simple.

The forums preparing the reform of administrative division could not take the areal division into consideration in the 1950's as we had no such thing then, but independently of this the reform did not bring a radical territorial redivision. Thus the economic areas are territorially on no level in agreement with the administrative units.

In consequence of the economic development of the last decades, the counties and districts themselves also have, in a sense, become economic units. In several respects they perform the function of economic areas, and thus irreconcilable differences between the two systems are found only in a few places.

The southern part of the Great Plain as an area territorially agrees roughly with the three counties Bács-Csongrád-Békés; the differences mentioned above concern only a few settlements. For instance, from the point of view of economic areas, the N part of the district of Dunavecse belongs to the central area, but Nagykőrös, together with its immediate neighborhood, belongs to the southern part of the Great Plain. With the exception of the cases just mentioned, the division into microareas has left the county boundaries intact. Generally one or two districts belong to one microarea, and the boundaries of the districts are relatively rarely crossed by the boundaries of the microarea. For instance Mártély and Székkutas administratively belong to the district of Szentes, but all other aspects link them with Hódmezővásárhely; the region of Mélykút and Jánoshalma is more closely linked, with Baja than with its own district center, Kiskunhalas. Along the administrative boundaries there are several settlements whose status is dubious. These cases must be examined separately, especially when an administrative reform is carried out.

6. The relationship between the population and the microareas

Economic geography considers the population as the most important force of production. This is the reason why the relationship between the economic life and the population is of primary importance to us. The regionally different rate of development of the branches of the national economy alters the composition of the population, influences the direction of the migration, and a number of demographic phenomena, and conversely, the population as labor force influences the branches of production. This well-known pattern manifests itself in a highly differentiated form.

In the southern part of the Great Plain the development of industrial foci and the rapid technical development of farming constitute the basic factor that has speeded up the process of relayering of the population and greatly differentiated it regionally. In certain microareas there is a shortage, in others always a surplus, of manpower. Thus working out the balance of the manpower attraction of the industrial foci and the manpower of the microareas is not only one of the most important tasks of area research, but it is necessary also for the development of the national economy.

Part of the phenomena or problems connected with the population, e. g. relayering, migration, commuting, increase or decrease of the population, etc. vary in the southern Great Plain usually within the boundaries of the microareas under the influence of the centers, depending on the importance (state of development) of the latter, the distances and the transport conditions. The direction and intensity of the change is mathematically measurable and summarizable. The indexes so obtained can be used for determining the boundaries of the microareas and for analyzing many problems. The demographic phenomena that depend on the movement of the economic life only partially, usually indirectly and shifted in time, such as births, deaths, etc. appear differently in different areas and so the microarea provides a suitable framework for their study. The microarea is the most suitable territorial unit also for the preparation of the balance of manpower.

7. The settlement network and the microareas

The historically developed hierarchy of the settlement network weaves through the territory of the whole area with invisible threads. If we make these threads visible, it appears that the strength of the relations varies from settlement to settlement, depending on what are the functions of the settlement in question. Investigation of the sphere of attraction of the settlements is one of the most important aids in determining the area boundaries. It is especially helpful in determining the status of the peripheral settlements. This is not accidental, as the attraction of the settlements reflects very important economic, social, and cultural relations.

One frequently meets with the view which, overvaluing the research of the sphere of attraction of the settlements, deems it sufficient for the determination of the economic areas. This problem is especially important in the case of the microareas because here it is of frequent occurrence that the microarea territorially coincides with the attraction sphere of the center, and practically, too, the drawing of the area boundaries is based on the research of the spheres of

attraction. In spite of this, the two concepts must not be confused or identified, for:

a) the content of the microarea differs from that of the spheres of attraction; it is far richer than these. In the former case the characteristics, activities, and peculiarities of the branches of production and the relations of the economic and social life are of primary importance, in the latter the relations of the economic, social, and cultural life are only added up.

b) As regards its function, the microarea is a territorial unit of production. On the other hand, the sphere of attraction, owing to many of its elements, cannot be considered such a territorial unit.

c) The spheres of attraction may change without the boundaries of the economic area being affected thereby, e. g. by the transfer of a directing center, the opening of a certain type of school, or the establishment of a larger department store, etc. This is not true, however, the other way round.

d) Within one microarea there are even several centers of attraction, usually subordinated to each other, but equally large centers with divided functions are also often found. This is why the two systems cannot even practically be identified.

The differences enumerated do not mean that there are no points of contact between the two factors. Just in the case of the microareas very important similarities are also found. Both factors are territorial forms of the economic and social activities; therefore many phenomena change with the distance from the centers determined by the transportation facilities. This similarity makes it possible for us to use the spheres of attraction as the most important factors in determining the microareas. There are not only direct, but also indirect points of contact between the economic areas and the spheres of attraction. For instance it is well known how close are the relations of the spheres of attraction with the administrative division, since the county and the district are determinants of a number of elements of attraction, and conversely, the directions of attraction have been taken into consideration in the determination of the boundaries of the above-mentioned units. The administrative units perform not only administrative and cultural functions, but also some directing functions in the economic life. Therefore it is not accidental that the aforementioned two factors, the sphere of attraction and the district division, approximate best the microareas territorially.

8. The relation between transportation and the microareas

The economic area as a territorial unit of production is a nonsense in itself; it can fulfil its task only together with the rest, and in harmony with them. The historically developed internal and external production and trade relations are in fact the form of existence of the areas, and their instrument is the transportation network. From this it follows that the analysis of the transportation network and of its function is closely connected with all taxonomic units of the economic area. There are qualitative differences between the grades; consequently the character of the relations and the role of transportation are different on different levels.

The different branches of transportation play different roles in coping with the passenger and goods traffic of the microareas of the southern part of the Great Plain.

Water traffic, though it affects a few microareas, is nowadays of little impor-

tance in the process of forming areas. In the trade between the microareas or in the internal trade it participates so little, that it is a negligible factor. Historically, it promoted the development of Baja, Szentes, Csongrád, and especially Szeged; attracted several industries, and participated in the transportation of goods (chiefly timber, grain, building material, salt) to a far greater extent than now. Before the coming of the railroads, but also later, it facilitated the marketing of the grain grown in the southern Great Plain. The steam mills appearing in the last century in Szeged and other towns of the southern part of the Great Plain meant the beginning of capitalist industrialization and the formation of areas, and the waterways certainly played an essential role in this process.

According to the plans of development the barrages to be built on the Tisza will improve also the transportation facilities, and this will mean a change especially in the traffic of goods of the microareas of Szeged and Szentes. The building of the Rhine—Main—Danube-canal will change also the transportation-geographic position of the valley of the Danube. Besides this, with the building of the Danube—Tisza canal, the connection of the two water systems creates a single waterway, the relation between the areas along the two rivers will improve, and it is to be hoped that this will create new possibilities for increasing water transport (e. g. the coal, wood, steel, stone, etc. of Borsod county will then reach the consumers along the Tisza and perhaps even in Budapest by water).

The gigantic constructions here mentioned serve of course other purposes, too: irrigation, water supply, energy production, all of them very important elements and conditions of a long-term development of the area. Transportation will be affected only in so much that the possibility and volume of water transport will increase: at the same time with the boom of industry and agriculture it will set new tasks to the other branches of transportation, too.

Railroad transport, being of a massive character and conveying goods over greater distances (thereby being connected chiefly with the specialization of the areas), accounts for a considerable proportion of the traffic. This function of the railroads is independent of the grade of the areas, for it appears in all areas as a requirement of specialization, the products of which must be transported usually over great distances. Besides the general laws, a contrary tendency also manifests itself. The narrow-gauge railroads in the southern Great Plain (near Szeged, Kecskemét, Orosháza, Mezőhegyes, etc.) serve exclusively the internal traffic in goods of the microareas. The standard-gauge trains perform an important economic function by carrying the commuters.

From the point of view of the development of the microareas the role of the railroads is a double one: on the one hand they facilitate specialization, on the other they tackle a part of the internal goods and passenger traffic.

It follows from the peculiar configuration of the railroad network of the southern part of the Great Plain that with the exception of the valley of the Danube all the areas are relatively well provided with railroads ensuring relations in all directions. A homogeneous network is missing only in the area of Baja. Even Baja and Kalocsa are connected with the busier network of the country only indirectly. Among the microareas Békéscsaba lacks direct railroad connections toward Debrecen, and Szeged toward the east. The little goods traffic between Békéscsaba and Debrecen does not justify the building of a new railroad, while the case of Szeged is somewhat more complicated. Before the First World War Szeged was, after Budapest, the most important railroad center in the country. It was here that the lines of Nagyvárad—Szeged—Fiume and Budapest—Szeged—Temesvár—Orsova met. The new borders after the war cut off

both railroad lines and thus Szeged became a border station. The bombings in World War Two destroyed even the railroad bridge and this further impaired the traffic situation of the town. This situation has not changed to this day, and the border traffic on the railroad has not been renewed. As a consequence, the center of the southern Great Plain has excellent connections with Budapest through Kecskemét and toward the north and northeast, but has only devious connections with the southern part of Transdanubia. The Szeged-Baja railroad has so far not been built because the little traffic in goods between the two areas would pay back the considerable sum of investment only in the remote future. Besides the traffic in goods, there are also other factors that justify the building of the line. For instance, a larger amount of goods arrives in the southern part of the Great Plain than is sent out. Thus railroad cars become free, which go back empty. In the case of the southern part of Transdanubia the situation is reversed. The transportation of goods requires many more cars. Therefore part of the empty railroad cars unloaded in the southern part of the Great Plain could be sent to the southern part of Transdanubia, and thus reasonable circulation would be established.

Railroads, as we have seen, generally cope with the external traffic in goods of the microareas and are an indispensable precondition of this traffic, but in the internal traffic they help out only locally and occasionally and they are not indispensable. Consequently, the configuration of the railroad network is of little help in determining the area boundaries.

The function of road traffic is well known. It differs from that of railroads in that it deals with the transportation of goods over short distances; the average distance of transportation by road being 14.5 km, the average distance of transportation is economic when goods of little bulk but of great value, such as first fruits, are to be transported to remote destinations. In recent years the roads have been more and more in rivalry in transporting goods and passengers over long distances. This process, however, has not yet changed the general tendency mentioned above.

In the case of road transportation it is very difficult to separate and locate by microareas the internal and external traffic of goods, as the statistical data refer to counties. On the basis of traffic measurements it has been found that on many of the roads the traffic rapidly increases toward the centers. On the roads with mainly transit traffic this change is relatively smaller, yet perceptible. In consequence of this, the greater part of the motor vehicle traffic is within the microareas, and as it increases nearer the centers, the power of attraction can be measured through the road traffic, especially the passenger traffic. Therefore it can be used as a factor in determining the area boundaries.

The traffic relations in many respects express production relations; therefore it is not accidental that road traffic indicates both the main direction of the relations and the territorial concentration.

It follows from this peculiarity of the road system that its influence on the internal life of the microareas is much greater than that of the railroad. The network of roads and the time zones of the accessibility of the centers are important elements of the investigation of commuting. Experience proves that the extent of commuting is directly proportional to the attraction of the centers, and inversely proportional to the time zone, (which of course does not mean that it depends only on these factors,) i. e. it decreases with the increase of the distance (or more precisely, of the traveling time). This influences the extent of out-migration, the relayering of the population, and the use of manpower. Further, through the man-

power and the possibility of selling, it influences the structure of agriculture as well as a number of demographic phenomena, the development of the settlement network, the decrease in the population of outlying areas, etc. These relations can, to a limited degree, be demonstrated also in the case of the railroads.

The process here described appears in territorially differentiated form depending partly on the state of development of the industrial centers, partly on the influence of other factors (e. g. local industry, scale of the ancillary plant of the cooperatives, the structure of agriculture, traffic conditions, etc.). It is most manifest in the microarea of Szeged, but it can be found in a smaller or greater measure in all the microareas. The study of these relations is very important not only for determining the boundaries of the microareas, but also for judging the development of the whole economic life and the prospects, and, as we have seen, the analysis of the road system and traffic helps in this.

Determination of the boundaries of the microareas

The southern part of the Great Plain is a mesoarea, the industrial development of which was very slow for decades. After World War Two this development became accelerated, but it has gained vigorous momentum only in our days. By virtue of its regional differences, this process makes it possible for us to fully measure its influence and thus try to determine the territorial unit of the microareas.

In the foregoing I have described the factors that are indispensable in the determination of the boundaries of the microareas. The problem is how qualitatively and quantitatively different economic and social processes and phenomena can be considered together so as to enable us to describe the boundaries of the areas in an exact manner, reducing the influence of subjectivity to a minimum.

Differently from the administrative division, the areas cannot be considered rigid, closed systems, but dynamically developing and changing territorial economic units.

The boundaries, or rather border zones, of the microareas are often indistinct, and in drawing them we are obliged to decide on the status of the area on the basis of the different centers. This method can be used only occasionally and cannot be generalized. For the investigation of the border zones the adding up of all the area-forming factors is needed.

It is impossible to sum up mechanically the qualitatively and contentwise different economic and social factors, but it is not even necessary, for it would not express anything. If their maps prepared separately were drawn on top of each other, the resulting map would be nearly impossibly confused on account of the many overlappings. Our task is above all the analysis and explanation of the changes and interrelations. Consequently, this is what we must look for in measurable form in all factors. The area-forming factors are different in their functions, but they have this in common that all of them change, develop, and influence each other. The change is territorially different, and among a number of relations and influences the influence of the center through various transmissions is the strongest. The development of industrial concentration influences the traffic, the size of the population of the surrounding settlements, etc. Depending on the size and attraction of the center this process weakens with the decrease of the distances (accessibility). Thus the common features, that is the dynamics of change and development, must be summed up. The intensity of the change and development

can also be expressed in numbers and can even be summarized for each settlement separately. The index so obtained brings us much nearer to the determination of the microareas.

Further the question is whether this in itself is sufficient. Or is this the most important index that we need? A qualitative index like this is, of course, not sufficient in itself, although it brings us nearest to the problem.

In the following the causes, content, and trend of the changes must be investigated, and on this basis territorial units can already be distinguished with absolute certainty. This work can practically be divided into the following phases:

a) Determination of the nuclei of the production complexes. These coincide with the centers of attraction and play a central role on some level in the areas. We can consider as the nucleus of the microarea that production concentration which is able to establish series of interrelations between the economic and social phenomena so that the development of the area thereby connected with it differs in many respects from other areas and develops a life peculiar to it.

b) *Delimitation of the areas in space.*

This can be done by summarizing the zones and spheres of attraction as shown by the indexes described above.

c) The centers of the areas must be classified and their connections determined. Some microareas, e. g. the valley of the Danube, the microareas of Baja, Kalocsa, Békéscsaba, Gyula, Sarkad, etc. (have even several centers, which all have their own small spheres of attraction. The connections of these territorial units can be determined on the basis of their production profiles and production, trade, and traffic relations.

d) Survey of the natural and social resources of the microareas, exploration of the trends and peculiarities of development.

The objectives of these stages of investigation are to gain a thorough knowledge of the microareas and to explore their boundaries, as these two tasks are inseparable.

CHARACTERISTIC FEATURES OF THE POPULATION GROWTH IN THE CENTRAL SETTLEMENTS OF HUNGARY IN 1960–70

by

DR. J. TÓTH

I. Aim, sources, and method

The population growth in Hungary in 1960–1970 was much smaller than in the previous decade (3.6 and 8.2% respectively). Parallely with it the population growth rate of the central settlements also decreased, but to a much smaller measure, and thus their role in the population of the whole of the country grew. This fact, besides other factors, also underlines the importance of their investigation.

The aim of this paper is to elucidate — with the help of investigation of the components and rates of the population growth of central settlements of various grades and analysis of the regional variations — such correlations as may be useful from the point of view of settlement planning and development.

This study involves the 127 settlements that are indicated as at least partially middle-grade centers in the long-term plan for the development of the network of settlements (government decree No. 1007/1971). For the purpose of a regional analysis the most recently published system of districts, the classification on an economic basis according to Krajko, has been used. The administrative changes (transfer of joining of territories) have been taken into consideration also retrospectively, using our statistical sources.

Investigating the changes in the population of the different settlements, group averages were calculated and used as limit values of typing on the basis of the dynamics of changes. The changes of place of the different settlements in the national order of rank for population number were examined and used in the regional examination for calculating the rank coefficient. This latter can be obtained by the help of the formula:

$$R = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{q_1 + q_2 + \dots + q_n} \text{ where}$$

$P_1 + P_2 + \dots + P_n$ is the sum of the „rank numbers” of the settlements of a given district or group in the national rank order at the beginning of the

period examined, and $q_1 + q_2 + \dots + q_n$ is the same criterion at the end of the period.

Accordingly:

if $R > 1$, the settlements of the given district or group had a greater population growth rate than those just above them in the order of rank and a greater population growth rate than the national average;

if $R < 1$, the settlements of the district or group developed more slowly than the average and fell lower in the national rank order;

if $R = 1$, the settlements of the district or group developed at a rate agreeing with the average and their places in the rank order remained unchanged.

Often the rank coefficient does not give a correct value in the case of one settlement or a small number of settlements owing to the fact that quantitative differences between neighboring members of the rank order are variable. According to our experience, however, it is useful already on the level of subdistricts (4–15 settlements), and on the level of meso- and macrodistricts it gives results which agree well with assessments using other methods. The same can be said of the examination of groups: it is only in the case of the closed group of sharply distinguished top-ranking centers that the rank coefficient does not have the expected value.

Starting from the fact that a certain rate of the population growth of a given settlement in a given district means variable degrees of relative population concentration depending on whether the total population of the district decreases or grows at a smaller or greater rate, an attempt was made to characterize the relative population concentration by a single index. This can be obtained on the basis of the following formula:

$$C = \frac{P_1 \cdot U_2}{P_2 \cdot U_1} \text{ where}$$

P_1 is the population number of the district in 1960,

P_2 is the population number of the district in 1970,

U_1 is the population number of the central settlements of the district in 1960,

U_2 is the population number of the central settlements of the district in 1970.

If $C > 1$, the population number of the central settlements grows faster, if $C < 1$, then slower, than the total population of the district. If $C = 1$, the population of the central settlements and the total population of the district grow at the same rate. Apart from some special cases, in the current period $C > 1$. The variation of its value shows well what the role of the central settlements is in the relative concentration of the population of their districts.

II. Results

During the decade examined the population of Hungary grew by 354.6 thousand. This growth took place so that while the population of the central settlements grew by 511.8 thousand, the population of the rest of the country decreased by 157.2 thousand. Thus migrations had a great role in the population growth of the central settlements. The importance of migration is further emphasized by the fact that the natural population growth of the central settlements is — largely owing to the negative and important value of the capital — lower than the national average, only 2.5%.

Altogether 77.5% of the population growth of the central settlements was due to the positive balance of migration. Their own natural population growth accounted only for 22.5%.

Half of the increase was accounted for by Budapest and the distinguished top-grade centers, a further 30% by the other top-grade centers, and about 20% by the middle-grade centers (Fig. 1.).

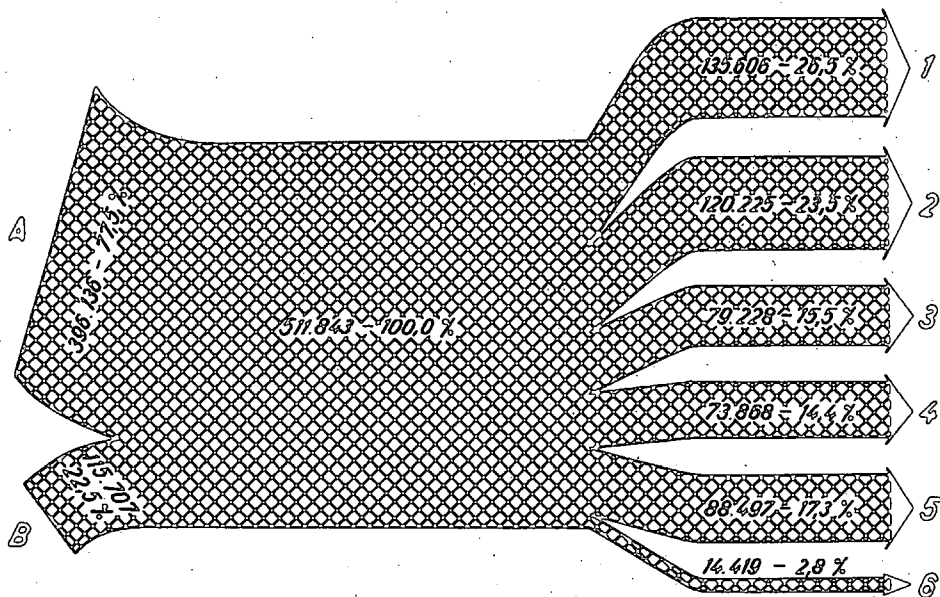


FIG. 1. The components of the population growth of the central settlements and their grades A = migration difference, B = natural population growth, 1 = capital, 2 = distinguished top-grade centers, 3 = top-grade centers, 4 = partially top-grade centers, 5 = middle-grade centers, 6 = partially middle-grade centers.

1. Changes in the number of population according to the hierarchy of settlements

The population growth was different in the various centers representing different grades of the hierarchy of settlements. Aside from Budapest, the general rule that the population growth of ever lower grade centers is ever smaller is true. While, however, there is no essential difference between the three grades of the top centers, there is a great difference in the growth rate of the top- and middle-grade and middle- and partially middle-grade centers (Table 1.).

With ever lower grades of hierarchy the two components of the population growth, the balance of migration and the natural population growth, change reciprocally. With the decrease of the importance of the balance of migration the natural population growth acquires an ever greater role. In absolute value the migration balance in all grades of the top centers is greater than the natural population growth. In the case of the middle-grade centers the situation is reversed; indeed in the last grade examined the migration balance is negative (Fig. 2.).

Even among the settlements of the same grade there is a wide range of variation both as to the rate of population growth and its components, and their characteristics. For the purpose of the designation and survey of the specific fea-

TABLE 1.
Changes in the Population of Centers

Hierarchical Grade	Number of Centers	Population 1960	Population (1000 persons) 1970	Increase %
I. Capital	1	1.804,6	1.940,2	7,5
1. Distinguished top-grade centers	5	571,7	691,9	21,0
2. Top-grade centers	7	381,1	460,3	20,8
3. Partially top-grade centers	11	388,0	461,8	19,0
II. Top-grade centers together (1 + 2 + 3)	23	1.340,8	1.614,0	20,4
4. Middle-grade centers	65	1.078,2	1.166,7	8,2
5. Partially middle-grade centers	38	467,3	481,7	3,1
III. Middle-grade centers together (4 + 5)	103	1.545,5	1.648,4	6,7
IV. Provincial centers together (II + III)	126	2.886,3	3.262,4	13,0
Total (I + IV)	127	4.690,8	5.202,6	11,0

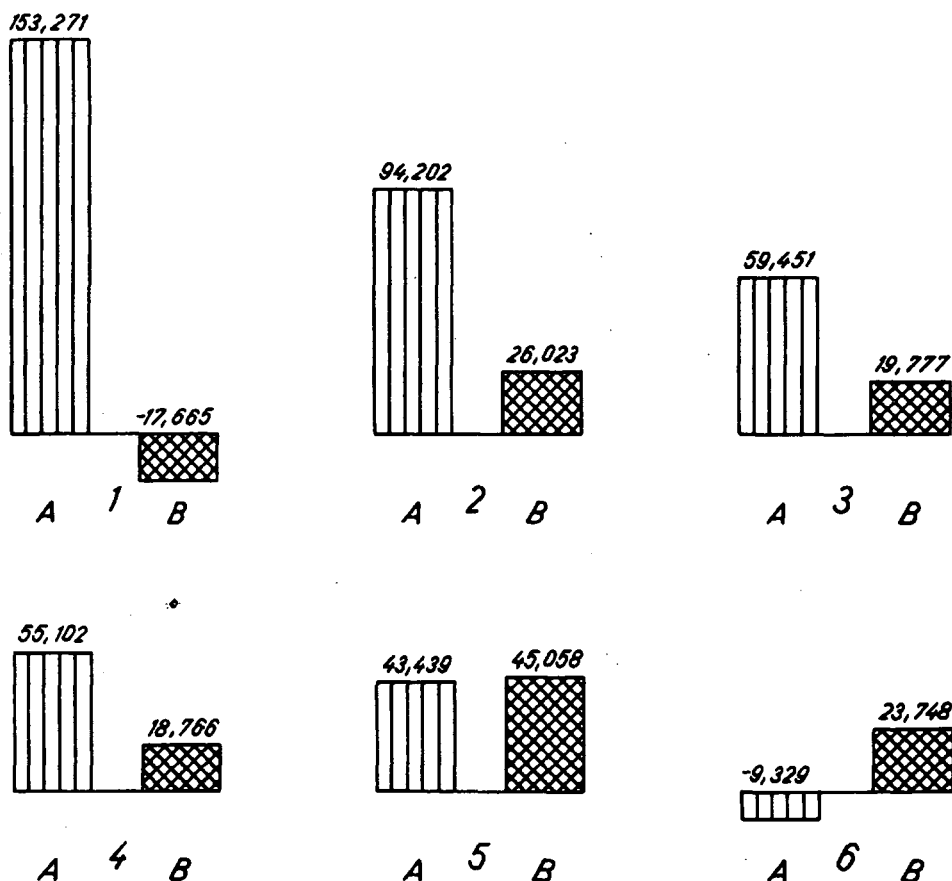


FIG. 2. The migration difference and the natural population growth in the population growth of centers of different grades. A = migration difference, B = natural population growth, 1 = capital 2 = distinguished top-grade centers, 3 = top-grade centers, 4 = partially top-grade centers, 5 = middle-grade centers, 6 = partially middle-grade centers.

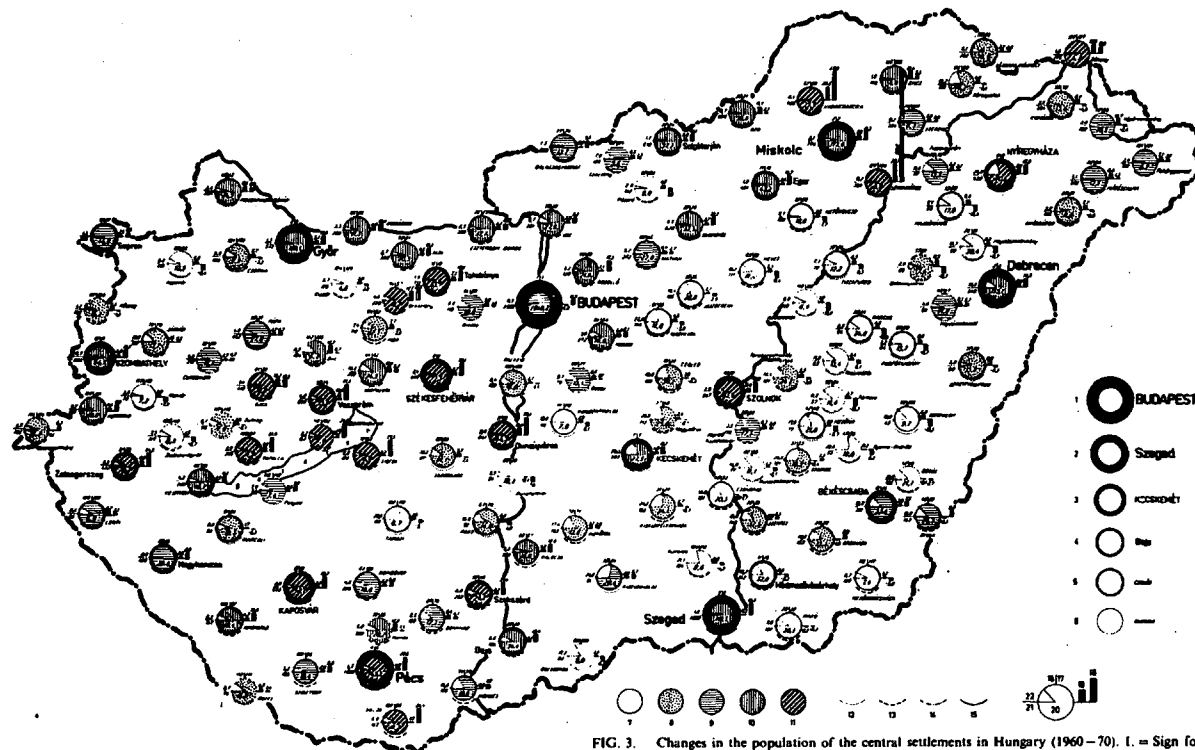


FIG. 3. Changes in the population of the central settlements in Hungary (1960-70). I. = Sign for the different centers: 1 = capital, 2 = distinguished top-grade center, 3 = top-grade center, 4 = partially top-grade center, 5 = middle-grade center, 6 = partially middle-grade center. II. = The population growth rate: 7 = decrease, 8 = increase below the average of the middle-grade centers, 9 = increase between the average of all the provincial centers and that of the middle-grade centers, 10 = increase between the average of all the top-grade centers and that of all the provincial centers, 11 = increase above the average of the top-grade centers. III. = The limit values of the population density: 12 = below the national average, 13 = between the national average and the average of the provincial centers, 14 = between the average of the provincial centers and the average of the top-grade centers, 15 = above the average of the top-grade centers. IV. = Characteristics of the different centers: 16 = place of center in the national rank order of centers according to population number in 1960, 17 = place of center in the national rank order of centers according to population number in 1970, 18 = migration difference (1960-69, %), 19 = natural population growth (1960-69, %), 20 = population number (1000 persons, 1970), 21 = population density (persons per sq km, 1970), 22 = ratio of suburban population (% 1970).

tures and the demonstration of the territorial location of the different types the author has prepared a cartodiagram of the settlements examined (Fig. 3.).

In connection with the settlements of different hierarchical grades the following statements can be made:

a) *Budapest*

Its territory (525.2 km²) in only half a per cent of the area of the country, in which 18.8% of the population of Hungary (1,940,212 persons) lives. This is about 37.3% of the population of the central settlements.

For decades there have been systematic efforts to control the excessive population growth of the capital. Besides the nationwide decrease of the population it is mainly due to this fact that the growth rate of the period examined is scarcely more than half of that of the previous decade. However, even this not too high value (7.5%) is double the national average, and in absolute numbers it covers considerable concentration: Budapest accounts for 26.5% of the population growth of the central settlements, 38.7% of its migration difference and 38.3% of the population growth of the whole country. The population of the agglomeration ring around the capital grew at a considerably greater rate, and so the overweight of the agglomeration of Budapest grew further.

b) *Distinguished top-grade centers*

Large towns with populations over 100,000. There are five of them. Their combined area (1,102.3 km²) is 1.2% of the area of the whole country, their total population (691,936) is 6.7% of the population of the whole country, and 13.3% of the population of the central settlements. Their natural population growth (4.5%) agrees with the mean value of the provincial centers, their migration difference (16.5%) and actual population growth (21.0%) are the greatest among all the grades. Their population density is high, their suburban population is negligible. (Debrecen is an exception in both respects). The distinguished top-grade centers account for 23.5% of the population growth of the settlements examined, 32.0% of that of the provincial centers, 23.8% of their migration difference, 38.8% of that of the provincial centers, and 33.9% of the population growth of the whole country.

Their quick development is our aim also in the future. By virtue of the fact that they are becoming more and more real centers of the areas with populations of 1–1.5 million, they are the most important factors of relieving the burden of the capital.

As regards the rate of population growth over the decade, there is no essential difference between them. (18.7 and 26.6% respectively being the two extreme values). It is remarkable that Szeged whose natural population growth in the previous period had been slow on account of the slow development of the town came up in the period examined to the population growth level of the other distinguished top-grade centers through its great migration difference.

The rank coefficient of the group is 1.00.

c) *Top-grade centers*

These are towns with a populations of 60–80 000, all of them highly developed country towns. They are seven in number. Four of them are in the Great Plain and three in Transdanubia. Their total area (1140.5 sq km) is 1.2% of the area of the country, their population (460.284) 4.4% of the population of the whole country, and 8.8% of the population of the central settlements.

Their natural population growth (5.2%) is greater, their migration difference (15.6%) lower than the that of the distinguished top-grade centers. Their natural population growth (20.8%) is only 0.2% below that of the distinguished top-grade centers. This category accounts for 15.5% of the population growth of all the settlements examined, 21.1% of that of the provincial centers, 15.0% of their migration difference, 24.5% of that of the provincial centers, and 22.3% of the population growth of the whole country.

Within this group the differences are greater than in the first group as regards the rate of population growth and other characteristics. It is the population of the two dynamically developing industrial and traffic centers, Székesfehérvár and Szolnok, that has grown most rapidly (27.8 and 26.2% respectively). Among the centers of the Great Plain Kecskemét and especially Békéscsaba have population growth rates well below the average (16.7 and 10.5% respectively). In these towns, as well as in Nyíregyháza whose natural population growth rate is high (8.2%), the population of the outskirts is also important.

The average population density of the settlements of this group is 404 persons per sq km. The proportion of the population of their outskirts is 9.4%. Their rank coefficient reflects their faster-than-average growth. Its value is 1.03.

d) *Partially top-grade centers*

These are generally towns with a population of 30–50 000. There are eleven of them. Six of them are seats of county administration, the others are settlements with similar roles.

Their total area (1.416.2 sq km) is 1.5% of the area of the whole country, their total population (461.824) is 4.4% of the population of the whole country, and 8.9% of the population of the central settlements.

Their natural population growth (4.8%) is intermediate between that of the two former groups, and their migration difference (14.2%) is smaller than that of the former. This group accounts for 14.4% of the total population growth of the central settlements, 19.6% of the population growth of the central settlements, 19.6% of the population growth of the provincial centers, 13.9% of their migration difference, and 22.7% of that of the provincial centers. This population growth of nearly 74.000 people makes up about 20.8% of the population growth of the whole country.

Within this group the differences are greater than in the former. Besides Dunaújváros (42.7%) Veszprém (38.1%) and Zalaegerszeg (33.9%) also had extraordinary population growth rates. On the other hand, the population growth of Sopron on the state border (9.3%) is far below the average of all the centers examined (11%), while the population growth rates of Nagykanizsa (11.7%) and Baja (13.6%) scarcely exceed it. It is in this group that we can find the most populous Hungarian town whose population decreased in the period examined: Hódmezővásárhely. It was only in the 1960's that this town was industrialized to any considerable extent.

Its natural population growth is small, and its migration balance negative. Though the population of its inner area grew, this could not counterbalance the decrease in the population of its extensive farm area.

The combined population density of the settlements of the group is 326 persons per sq km. The population of the outskirts of 6 different towns is below 2%, and even combined only 4.2%. Owing to the fact that the great population growth in the spheres of several, nearly equally large, settlements may have led to considerable changes in rank order, their rank coefficient is very high: 1.17.

e) *Middle-grade centers*

These are district-seat-like settlements. Their population number varies from 7000 (Lenti) to 38 000 (Cegléd). There are 65 such settlements. Their total area (7420.2 sq km) is considerable, 8.0% of the area of the whole country. In this area live 11.3% of the population of the whole country and 22.4% (1.166.708 persons) of the population of the central settlements. The average density of the population is one and one half that of the whole country (157 persons per sq km). The proportion of the population of the outskirts is relatively high: 8.9%.

Natural population growth (4.2%) and the migration difference (4.0%) have played nearly equal roles in their population increase. In spite of their large number they account only for about 17.3% of the total population growth. They have an even smaller share in the migration difference: 11.0%. Referred to the provincial centers the values of these are 23.5 and 17.9% respectively). In absolute numbers, the population increase (88.497) is equal to one-fourth of the population growth of the whole country in 10 years.

The population number of 15 middle-grade centers out of 65 decreased in the period examined. The decrease was the greatest in Mezőtúr (7.1%), Karcag (5.4%) and Szeghalom (5.4%). Negative natural population growth can be found in five, negative migration difference in 26, and both only in two middle-grade centers. (Makó, Csongrád). In contrast to these, extreme values can also be found among the 50 centers with growing populations: the population of Leninváros grew by 219.9%, that of Kazincbarcika by 70.1%. The extremely great natural population growth of these towns is also remarkable: 30.1% and 22.3% respectively. Besides them it was Tapolca, Siófok, Siklós, and Ajka whose population grew rapidly.

Owing to their lower growth rate, the middle-grade centers came down in the rank order of settlements according to population numbers. Their rank coefficient is: 0.99.

f) *Partially middle-grade centers*

These are settlements that function only partially as centers of district-size areas. Their population numbers vary between wide limits (Záhony: 4258 persons, Hajdúböszörmény: 30 448 persons). There are 38 such settlements.

Their total area is 4580.3 sq km, 4.9% of the whole country with only 4.7% of the population of the whole country and 9.3% of the population of the centers (481 730 persons). Their population density (105 persons per sq km) is lower than the national average, and the proportion of the suburban population, 9.5%, is greatest here among all the categories of settlements. Their loss of population through migration (9329 persons, 2.0%) is compensated only by the

relatively great natural population growth (5.1%, 23 748 persons). This category accounts only for about 2.8% of the total population growth of the centers. Even referred to the provincial centers this ratio is only 3.8%.

The population of 24 of the partially middle-grade centers grew and the population of 14 decreased. While the natural population growth is negative in the case of only three settlements, the migration difference is negative in as many as 22 settlements. The populations of Békés and Dunaföldvár regarding both sources decreased in the period examined. Here, too, the differences are considerable. The population of Abádszalók decreased by 11.8%, that of Gyoma andendrőd by 9%, that of Túrkeve by 8.6%, while that of Oroszlány grew by 32.2%, that of Balatonfüred by 25.2%, that of Záhony by 25.0%.

On the whole the growth of this group is the slowest. This is shown also in the change in their place on the national rank scale. Their rank coefficient, 0.98 is the lowest among the groups examined.

g) The changes in the importance of the centers of different grades in the total population of the centers.

Owing to differences in the population growth, changes took place also in the ratio of the population of the different hierarchical grades within the total population of the centers. In spite of the relatively short period, these changes in ratio are quantitatively perceptible, and, as regards their trends, they are indicative of a long-term tendency.

Budapest's ratio fell from 38.5% to 37.3%, the ratio of all three types of top-grade centers grew altogether from 28.6% to 31.0%, that of the middle-grade centers from 32.9% to 31.7% (Fig. 4).

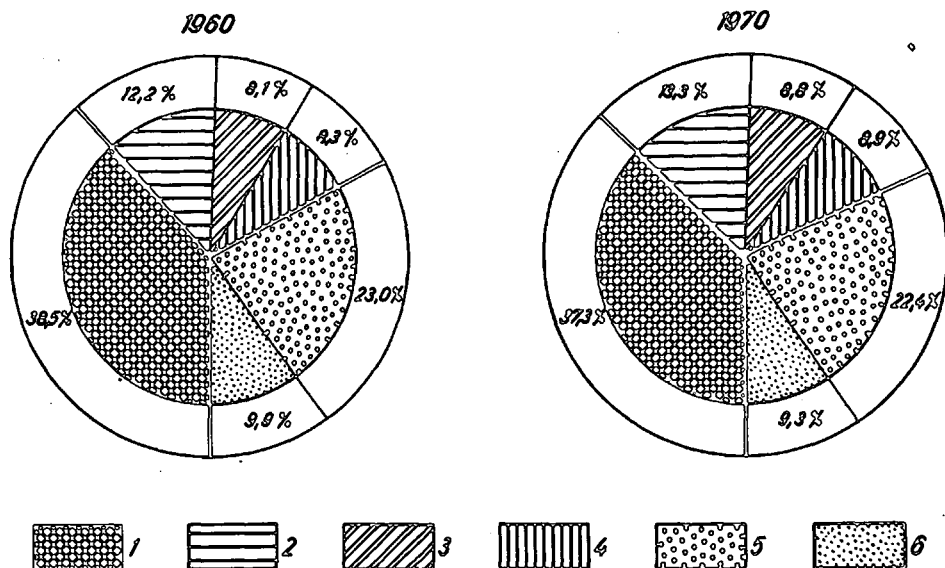


FIG. 4. The population of the central settlements according to grades in 1960 and 1970. 1 = capital, 2 = distinguished top-grade centers, 3 = top-grade centers, 4 = partially top-grade centers, 5 = middle-grade centers, 6 = partially middle-grade centers.

2. Changes in the population number of the centers according to economic districts

The centers differ considerably in their number, density, ratio to the total population, and role in the population growth of the districts already on the level of macrodistricts. These differences are still greater on the level of the subdistricts.

The number and density of the centers is lowest in the Central District and in North Hungary. Here there are 1.18 or 1.28 centers for each 1000 sq km. In the largest district, in the Great Plain, this index is 1.35, i. e. it is scarcely smaller than the national average (1.37). The density of centers is greatest in Transdanubia: 1.45.

In 1970, 50.4% of the population of Hungary lived in the centers examined. Among the macrodistricts a higher ratio is found only in the Central District, where — owing to the great attraction of the capital — nearly threequarters of the population live in centers. In spite of the higher-than-average ratio of the suburban population, the relatively high value of the Great Plain (43.4%) is remarkable. The ratios of Transdanubia and especially of North Hungary are lower (41.3 and 36.3% respectively).

The population growth of the centers is most considerable just in the macrodistricts where the ratio of their population to the population of the whole country is low (North Hungary and Transdanubia). Owing to the influence of Budapest, the population growth in the Central District is smaller than the average. It is the central population of the economically least developed macrodistrict, the Great Plain, that grew least.

If the changes in the total population of the different macrodistricts are also considered and compared with the growth rate of the population of the centers, the dynamics of the centers in relation to their environments can be appreciated. In the case of the Central District, where first of all on account of the rapid population growth of the agglomeration ring surrounding Budapest the population outside the centers grew faster than the population of the centers, the value of the coefficient C used by us for measuring this relation remained under 1.00 (0.99). The centers of North Hungary, Transdanubia, and the Great Plain are more similar to each other as regards the coefficient C .

The settlements of the Great Plain came down in the national population rank order in the decade examined ($R = 0.95$). The positions of the centers of the other three macrodistricts became better at their expense (Table 2).

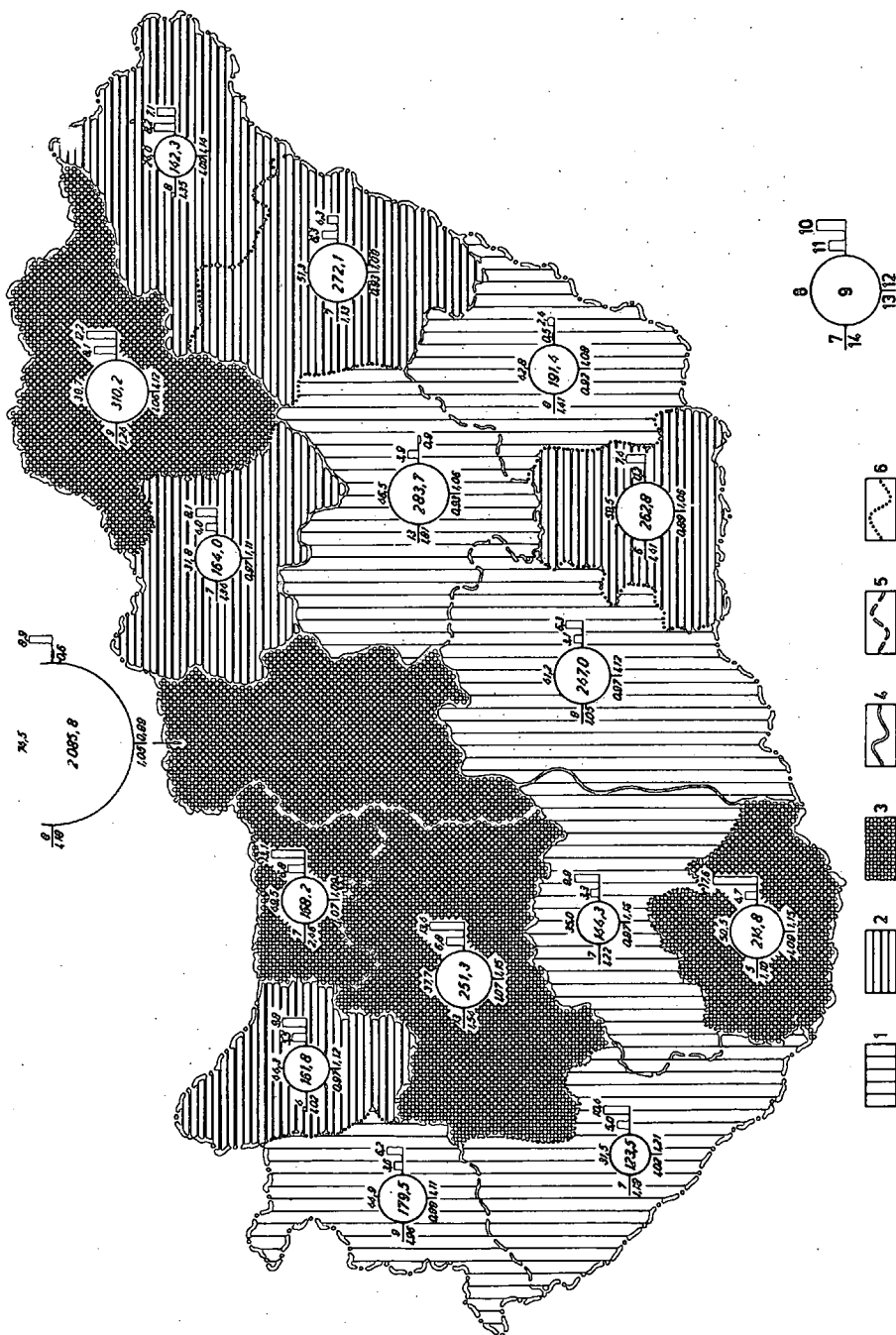
In order to demonstrate the essential differences within each macrodistrict at the level of subdistricts we constructed a cartodiagram (Fig. 5). Of the characteristics represented on it we mention here only the most important ones according to meso- and subdistricts:

a) *Central district*. It is uniform in the system of districts used. Besides the characterization given with the macrodistricts it is worth mentioning that the value of the only unit where the natural population growth is negative, Budapest, cannot be counterbalanced by the other centers.

b) *Transdanubia*. Of its three mesodistricts it is Central Transdanubia where the population of the centers grew most (19.9%). Both the migration difference and the natural population growth were high. The ratio of the population of the centers compared with the total can be regarded as high only in the subdistrict of Komárom (49.5%). In the same place the density of the centers is also the highest in the nation (2.46 centers per 1000 sq km). High values are found also in the sub-

TABLE 2.
Some data of the centers according to macrodistricts

Macrodistrict	Area sq km	Popula- tion 1970 (1000 persons)	Change 1960— 1969 %	Number of centers	Density of centers no/1000 sq km.	Population number of centers in 1970 1000 persons	Ratio of central pop. in 1970 %	Growth of centr. pop. 1960—69 %	Dyn. co- eff. of relat. conc. of centers 1960—70	Rank coeff. of centers 1960—70
Central District	6 787,4	2 797,8	+9,6	8	1,18	2085,8	74,5	+8,3	0,99	1,05
North Hungary	12 462,8	1 296,4	+5,0	16	1,28	474,2	36,6	+17,4	1,12	1,02
Transdanubia	35 920,6	3 001,3	+2,7	52	1,45	1243,4	41,3	+17,3	1,14	1,03
Great Plain	37 860,9	3 220,3	-1,0	51	1,35	1399,3	43,4	+7,6	1,09	0,95
Total	93 031,7	10 315,8	+3,6	127	1,37	5202,7	50,4	+11,0	1,07	1,00



Changes in population number according to economic districts. 1 = decrease in total population, 2 = population growth below national average (0-3.5%), 3 = population growth above national average (3.6%), 4 = boundary of macrodistrict, 5 = boundary of mesodistrict, 6 = boundary of subdistrict, 7 = number of centers, 8 = ratio of the population of the centers to the total population of the district (%), 9 = total population of centers (1000 persons, 1970), 10 = migration difference (1960-69%), 11 = natural population growth (1960-69, %), 12 = value of index for relative concentration (C), 13 = value of rank coefficient (R), 14 = average density of centers (centers per 1000 sq km).

FIG. 5.

district of Fejér—Veszprém, while the ratios of the subdistrict of Zala are lower.

The population growth of the centers of southern Transdanubia is 18.5%. Between its two subdistricts, Tolna and Baranya, there is an essential difference of rate due mainly to the difference in their migration factors.

In the two subdistricts of the Smaller Plain (12.4%) the greatest population growth is found in the centers of the subdistrict of Győr (15.3%). Both the natural population growth and migration difference of western Transdanubia are smaller.

c) *North Hungary* can be divided into two subdistricts, one of them being the subdistrict of Borsod whose central population growth rate (20.3%) ranks third in the country after that of Baranya (22.3%) and that of Fejér—Veszprém (22.2%). The percentage value of the subdistrict of Heves is much lower. In North Hungary the natural population growth, besides the great migration difference, plays an important role in the population growth of the centers.

d) *The Great Plain* can be divided into two mesodistricts. In these it is the centers of the northern Great Plain, that grew most dynamically (8.2%) in spite of the fact that their migration difference is smaller than that of the southern part of the Great Plain. (Among the other subdistricts it is only the subdistrict of Szolnok where the migration difference is negative.) On the other hand the natural population growth is relatively great in the subdistricts of Szabolcs (8.2%) and Debrecen (6.3%).

The population growth rate of the centers of the southern part of the Great Plain is 6.9%. It is here among the mesodistricts that the natural population growth is least important (subdistrict of Szeged: 0.2%, subdistrict of Békés: 0.5%).

The migration difference in the district between the Danube and the Tisza and in the subdistrict of Szeged is considerable as conditions go in the Great Plain, but in the subdistrict of Békés it is very low. The population number of the centers of the subdistrict of Békés grew the least (2.9%) even on the national scale.

III. Conclusions

In presenting the results of the investigations the author confined himself to the recording of the facts. Population growth is the result of complicated economic-social processes the analysis of which would require special study and could not be dealt with here. Since, however, the grade and regional differences in the population growth rate of the centers, in the components of the increase and in other characteristics indicate the economic-functional development of these centers, these investigations permit us to draw a few conclusions:

1. In spite of the undoubtedly slowed down growth rate of Budapest, it still takes up too great a proportion of the population increase of the centers. The existence and rapid population growth of the agglomeration ring also indicates that the preponderance of the capital should be reduced not by hindering the growth of the population of Budapest, but by really distinguished development of the distinguished top-grade centers.

2. The population growth of the top-grade centers is on the whole satisfactory and suitable to our long-term objectives. However, the conditions of a the quicker development of certain less dynamic centers (Békéscsaba, Baja, etc.) within the group by concentrated development. Attention should be given also to the quicker development of certain less dynamic centers (Békéscsaba, Baja, etc.).

3. The problems of the middle-grade centers are manifold. The development of smaller centers playing such a role and thereby the growth of their population should be accelerated. It is important to take care that the regional differences in the growth rate should not go beyond this point, and the not very dynamic centers should also keep and even increase the role that they play as foci of urbanization of their immediate surroundings.

4. The roles of the settlements examined as centers, their hierarchy, and their administrative – legal status cover each other only partially. The administrative-legal status of Budapest and the distinguished top-grade centers (the capital and the county towns) is adequately settled. In many respects, however, it is desirable that the role of the other top-grade centers be expressed in an administrative-legal status between the present level of county towns and that of towns. Furthermore it is absolutely necessary that the large villages that play the role of middle-grade or partially middle-grade centers should gain legal town status.

Literature

1. *Boros, F.* 1968: Magyar városhálózat új elemei. (New Elements in the Network of Hungarian Towns) Földrajzi Közlemények, XVI. (XCII) 251–270.
2. *Borsos, J.* (editor) 1961: Vidéki városaink. (Our Provincial Towns.) Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, Budapest.
3. *Dallos, F. – Szabady, E.* (editor) 1966: Magyar városok. (Hungarian Towns.) Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, Budapest.
4. *Krajkó, Gy. – Péntes, I. – Tóth, J. – Abonyi, Gy.* 1969: Magyarország gazdasági körzetbeosztásának néhány elvi és gyakorlati kérdése. (Some Theoretical and Practical Problems of Economic District Division in Hungary.) Földrajzi Értesítő, XVIII. évf. 95–115. o.
5. *Schultz, J.* 1971: Les villes nouvelles hongroises. Bull. Soc. languedoc. géogr. 5 N° 1. 135–168. p.
6. *Tóth, J.* 1967: Der Zuwachs der ungarischen Städte zwischen 1960–1965. Acta Geographica, VII. 81–104. p. Szeged.
7. *Tóth, J.* 1971: The Territorial Differences of the Changes in the Peripheral Population of the Southern Part of the Great Hungarian Plain (1960–1970). Előadás az IGU Európai Regionális Konferenciája S. 5-ös szimpóziumán (Szeged–Pécs).
8. *Statistical sources:*
 - a) 1970. évi népszámlálás 1. Előzetes adatok. (1970. census 1. Preliminary Data.) Központi Statisztikai Hivatal, Budapest 1970.
 - b) 1970. évi népszámlálás 1. a. Előzetes adatok. (1970. census 1. a. Preliminary Data.) Központi Statisztikai Hivatal, Budapest, 1970.

ECONOMIC GEOGRAPHICAL PROBLEMS OF THE POULTRY-PROCESSING INDUSTRY OF THE SOUTHERN PART OF THE GREAT HUNGARIAN PLAIN

by

MRS. ABONYI — DR. J. PALOTÁS

One of the most dynamically developing branches of our food economy is poultry raising. The processing industry connected with it and its trade have a great tradition in this country. The first processing plant was founded in Kecskemét in 1870. In the century passed since then the products of this industry earned a good reputation and became much sought-for articles even in the most demanding foreign markets. Hungarian poultry was of outstanding quality. Acknowledgement of this quality is reflected also in the fact that in the 1930's Hungary was in the first place among the poultry exporters with 40% of the poultry exports in the world.

After the Liberation by the Soviet army the development of our meat poultry production got a great impetus with the nationalization of the processing industry. The process was accelerated by the concurrence in the world market and the greater quantitative and qualitative demand of the home market.

The present study is only concerned with the poultry-processing industry in a narrow sense.

In 1969 the purchasing of meat poultry was 110 600 tons, the production of slaughtered poultry 71 000 tons, and the export of slaughtered poultry 44 770 tons (*Fig. 1.*).

These figures had risen threefold as compared to those of 1959. (The purchase of meat poultry had risen 3.7 — fold, the production of slaughtered poultry 3.3 — fold, and the export of slaughtered poultry 2.7 — fold.)

The importance of the poultry-processing industry of the economic district of the southern part of the Great Plain

The poultry raising and processing industry of the southern part of the Great Plain (Csongrád, Bács-Kiskun, and Békés Counties) plays a leading role in the country. Of the 11 factories of this branch of industry 5 work in this

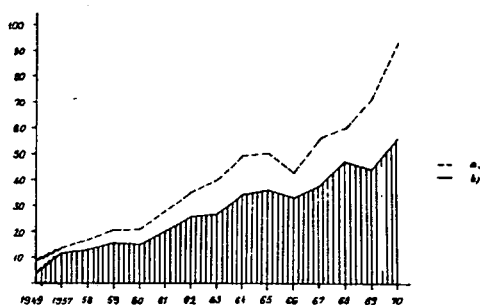


Fig. 1. Hungary's slaughtered poultry production and export. a) production, b) export. Unit of measure: 1000 tons.

district and in 1969 they gave 42.9% of the slaughtered poultry of the country and nearly one-half of the export, 45.7% of all those employed and 46.8% of the workers if this branch of industry work in this district.

As the poultry-processing industry works up nearly exclusively agricultural raw material, it belongs to the branches of industry that owing to their location are in close connection with their geographical environment.

The poultry-processing factories of the southern part of the Great Plain mostly rely on raw material produced in the same area. It was especially in the area bounded by the Kőrös rivers and the Maros and in the southeastern part of the land between the Danube and the Tisza that poultry raising had for a long time surpassed the national average. During the past decade poultry raising was the most rapidly developing branch of our agriculture. (Fig. 2a. and 2b.). From

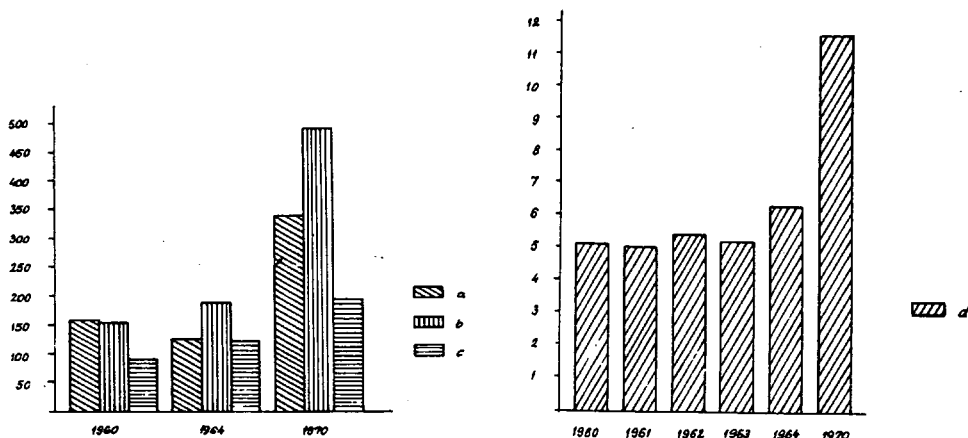


Fig. 2/a and 2/b. The poultry stock in the southern part of the Great Plain. a) goose, b) duck, c) turkey, d) domestic fowl. Unit of measure: for Fig. 2/a 1000 pieces, for Fig. 2/b 1 million pieces.

1960 to 1970 the poultry stock of this district rose 126%. In 1971 there was another great development. The conditions of large-scale poultry meat and egg production were established in the big agricultural enterprises, and today a considerable part of the production is concentrated in these enterprises, which are able to massproduce goods of a uniform quality at a low cost. In the period indicated

a veritable technological revolution took place in the field of poultry raising, and the rate of profit stimulated further development. In 1969 the poultry-processing enterprises of the southern part of the Great Plain bought 76% of the total value of the poultry and eggs processed, in the district and only 24% of it came (in order of decreasing quantities) from Fejér, Hajdú-Bihar, Pest, Tolna, Szolnok, Veszprém, Vas, Komárom, Győr-Sopron and Baranya counties. The average distance of transportation of the raw material is the smallest in the case of the plant of Békéscsaba (60 km) and the plant of Orosháza (65 km), and the greatest in the case of the plant of Kecskemét. The purchases of this latter within its own country amount only to 29% of the total of raw materials.

Poultry raising in the different villages stands far out from in the field of getting shares of the gross value of animal husbandry. Such are among the villages supplying raw materials to the poultry-processing plant of Orosháza:

	with raw material of
Mezőkovácsháza	14
Nagyszénás	14
Battonya	11
Kondoros	11
Medgyesegyháza	9
Gyoma	7
Orosháza	28 and
Szarvas	10
	million Ft worth

The most important villages supplying raw material to the poultry-processing plant of Békéscsaba are

	with raw material of
Mélykút	14
Dusnok	12
Kisszállás	10
Borota	8
Tataháza	8 and
Bácsalmás	7
	million Ft worth

The size of the raw material-supplying area is in close connection with the distance of the supplying village from the processing plant and the amount of poultry purchased.

Of the poultry-processing plants of the southern part of the Great Plain that of Kecskemét and that of Szentes have the largest, that of Orosháza the smallest, raw material-supplying area. This is reflected also in the proportion of transportation costs (1.6% in the case of the plant of Kecskemét, 2.0% in the case of the plant of Szentes, and 0.67% in the case of the plant of Orosháza). In the plants considered the transportation costs vary out of proportion with the increase or diminishing of the average transportation distance. The explanation for this is the system of transportation tariffs which do not grow in direct proportion with the transportation distance, loading and unloading, the use of different means of transport, etc.

If the location of the processing plants within their own raw material-supplying area is considered, eccentricity becomes apparent in the case of the

plants of Békéscsaba, Orosháza, Kecskemét and Kiskunhalas. The plant of Szentes is situated in the middle of the „theoretical circle”, but there is a shift in favor of the southern parts.

In the case of the processing plant of Kiskunhalas 4 settlements constitute the basis of raw material supply each of which provide about 5% of the total value of the products to be processed. Second-rate settlements are 9 in number, providing 2–5% of the raw material. Twelve of the 13 settlements mentioned are contiguous to each other, and all of them are situated in the southeastern part of Bács-Kiskun county. These settlements are irregularly arranged in relation to the processing plant.

The plant of Orosháza has 4 first-rate raw materialsupplying settlements and 16 second-rate ones. It receives 89% of all the raw material to be processed from these 20 settlements. The majority of these settlements lie east of Orosháza widely scattered in N–S direction. This narrow band is so to say wedged in between the areas supplying Szentes and Békéscsaba. Thus the raw material-supplying area of the plant of Orosháza does not surround the town „regularly” owing to the nearness of the processing plants in Szentes and Békéscsaba. Summarizing we can say about the raw material-supplying areas of the poultry-processing plants of the southern part of the Great Plain that more than half of the raw material processed comes from an area enclosed in a circle of 30–50 km of diameter.

This statement does not apply to the plant of Kecskemét, for some 12 counties contribute to its raw material supply. From the above it follows that in spite of its large surplus of poultry the southern part of the Great Plain alone is unable to supply the plants built here and the exploitation of the capacity makes it necessary to transport raw material here also from greater distances.

Size of the plant and productivity (The optimal size of the plant)

There are very many factors influencing the optimal size of the plant, and the factor playing the leading role is different in the different branches of industry. In the poultry industry the determining factors are the investment and purchase costs. Economical geography also deals with the analysis of the latter, because they depend to a great on the location. At the level of plants the concentration of production is reasonable while the reduction of costs going together with the growth of the size of the plants compensates the increase of costs connected with the growth of the areas of raw material purchases and export of ready goods. Besides these, modifying factors are the production profile which is different in different plants and the difference in the exploitation of capacity.

Our poultry-processing plants are of very different sizes. If we compare the average number of workers in 1970 with those employed in the different units of production value of the enterprise in the plants of the branch of industry. On about three times as large as the smallest plant.

We have examined the relation between the quotient of wages and the total production value of the enterprise in the plants of the branch of industry. On the basis of the relation

$$b = \frac{B}{T}$$

where b is the proportion of wages, B is the basis of wages, and T is the production value, the quotient varies between 2.9 and 3.9.

Productivity is in close correlation with the size of the plant so that the quotient of wages gradually decreases with the growth of the number of those employed. An exception is the poultry-processing plant of Orosháza; this can be explained not by the lower level of the technical conditions and organization, but by the preponderance of higher wage products.

The production value per one person average work force shows small differences in this branch of industry. If we compare with the size of the plants the magnitude and direction of the difference from the average of the branch of industry, we can see that there is direct relation with the size of the plants. This again supports the opinion view that the plants employing more workers can create more favorable working conditions. The processing plants of Orosháza and Kiskunhalas are exceptions, in this respect.

If we compare the production costs with the total production value in the poultry-processing plants of the district in the order of growing numbers of workers, we find that the larger and more specialized plants produce more profitably. A comparison of the level of specialization and the value of production gives the same result.

If Msp is the level of specialization, then on the basis of the relation
Proportion of main profile production of factory in total production

$$Msp = \frac{\text{Number of products turned out within the framework of the main profile production of factory}}{\text{the level of specialization of plants (factories) is the following:}}$$

plant of Kiskunhalas	27
plant of Szentcsaba	20
plant of Békéscsaba	20
plant of Orosháza	24
plant of Kecskemét	17

Exceptionally low is the Msp of the plant of Kecskemét, which in agreement with our rule mentioned above produces at the highest cost (97.6%), while the greatly specialized plant of Orosháza produces only at a cost of 86.7%.

Among the outside factors influencing the economic optimum of the poultry-processing plants the transportation costs of the raw material and the finished goods are the most considerable. It is an undoubted fact that the amount of these costs greatly depends on the way of transportation, the kind of the transported goods, the capacity of the means of transport, the level of consumption, the sale of the products at home and abroad, etc.

According to the calculations of dr. P. Kiss, by 1970 a poultry-processing plant of optimal size will need a raw material-supplying area of 55–65 km radius. In the case of plants with such capacity, fewer than there are now could do the job. This „Ideal condition regarding the size of plants and the raw material-supplying areas can of course be realized only when the processing plants are „geographically ideally located”. One of the most important criteria of this is the central location of the plants.

The poultry-processing plants in some traditionally poultry-raising areas are too near to, in other areas too far from, each other. Thus it is mainly the close arrangement of the processing plants in the southern part of the Great Plain that

causes overlapping of the raw material-supplying areas in the region, the nearness of the neighboring plants that causes eccentric location of the processing site, and unreasonably great transportation distances.

The optimal size of plants changes in time and space, even a seemingly unimportant factor may greatly modify it. The theoretically most practical size of plant cannot be realized in a branch of industry, it can only be maximally approached. For the sake of economy, however, investigation of the optimal size of plant is even so very important.

The products of the poultry industry are playing an ever greater role in the national consumption. Our poultry meat consumption per head is about 12 kg ranking third on the world list (The US ranks first with 21.3 kg, Canada ranks second with 13.6 kg). According to the long-term plan of our national economy 16.5–18.0 kg of the 80 kg per capita meat consumption will be poultry meat.

In order to perform this task, the plants of the southern part of the Great Plain consider expansion in the plan period. It is expected that with the installation of the most modern technical equipment and a minimal rise in the number of workers there will be a 45–50% increase in production. The plant of Orosháza plans to advance in the field of expanding the variety of its products. According to our calculations expansion of these plants does not entail the expansion of the borders of the raw material-supplying area.

The national Company of Poultry Industry produces not only enough to supply the home market but also for substantial export. In 1969, 26 tons of poultry was exported to the capitalist markets and 21 000 tons to socialist countries. Our poultry products were sent to nearly 40 countries first of all the Soviet Union, Czechoslovakia, the German Democratic Republic, the German Federal Republic, Austria, Italy and Switzerland.

Unfortunately, however, the western market is becoming saturated, difficulties are arising in selling, the supply is too varied and too large. Our task is to adjust therefore more elastically to the market demands, to improve the quality and reduce the cost of production. (Table 1.)

TABLE 1.

The Relation of the Size of the Plants and Productivity in the Poultry-Processing Industry (1970)

Plant	Number of workers	Plan for 1975	Quotient of transportation costs %	Quotient of wages %	Quotient of cost of material %
Békéscsaba	972	2154	0,69	3,1	80,4
BudafoK	896	1320	0,67	3,0	67,6
Debrecen	1129	1180	0,59	3,3	86,7
Győr	582	640	0,66	3,4	86,6
Kecskemét	1552	2990	1,3	3,0	76,2
Kiskunhalas	804		0,56	3,2	87,8
Orosháza	925		0,93	3,9	58,8
Sárvár	1061	1120	0,23	2,9	83,2
Szentes	691	850	0,93	3,7	58,2
Törökszentmiklós	867	1070	0,41	3,2	82,7

Literature

1. *Adorján Bence*: A termelés koncentrálásának új szervezési irányai. Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, Budapest, 1968.
2. *Cravero Robert*: A magyar baromfitenyésztés gazdaságföldrajzi képe 1954-ben. Földrajzi Értesítő, 1957/2. 199. old.
3. Csongrád- Bács-Kiskun és Békés megye statisztikai évkönyvei 1960 – 1969-ig.
4. Élelmiszeripari adattár. KSH Budapest, 1967.
5. *Fülöp – Gerő – Vidos*: Optimális üzem nagyság az iparban. Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, Budapest, 1963.
6. Ipari adatok 1969 I. – IV.-ig és 1970 I. II. KSH Budapest, (negyedéves statisztikai közlemények).
7. *Kiss Pál*: Optimális üzem nagyság és profil a baromfifeldolgozó iparban. (Kézirat.)
8. *Kövesi János*: Állattenyésztésünk fejlettségi szintje és fejlődési ütemének kérdései. Közgazdasági Szemle. 1970/7 – 8. 897. old.
9. *Márton János*: Az élelmiszergazdaság új szerkezete. Kossuth Könyvkiadó, 1970.
10. Világgazdaság 1970. augusztus 19.

THE SOILS OF HUNGARY NEEDING AMELIORATION

by

DR. I. TORONYKÖY, DR. J. JUHÁSZ, DR. M. DZUBAY

In an earlier publication we have already dealt with the exploitation of natural resources and classified the soils of this country from the point of view of their need for amelioration.

In the majority of cases the suitability of the soil for cultivation is basically determined by the conditions of precipitation. They also determine the quantity and quality of the crop yields. Therefore we showed the territorial distribution of the soils needing amelioration in this country in connection with the territorial distribution of precipitation.

We also described how polyelectrolytes, synthetic material foams, emulsions and true solutions preserve the already formed soil structure and how they influence the air and water economy of the soil (3).

We are going to describe the various soil types according to Stefanovits. (4) or the „Methodological Manual of Genetic Soil Mapping on Cooperative Farms” (2), or „Farming on our Sodic Soils” (1).

As we have mentioned, about 50% of the total plow-land area of the country needs amelioration. The soils needing amelioration are:

1. Acid soils
2. Alkali soils
3. Sandy soils
4. Bog soils

As their chemical, physical, and biological properties — in their original state — are very different, we think it suitable to deal with them one by one.

1. Acid soils

A common feature of these soils is that the surfaces of their colloids are unsaturated, there is much adsorbed H in them, and there is a high H ion concentration even in the liquid phase.

Unsaturated soils, if they contain many clay particles, are difficult to till, they have a bad, puddled structure.

Thus chemical, amelioration of the soil (liming) is achieved not only by neutralizing the acidity harmful to plants but also by the fact that the Ca-containing ameliorating substances replacing the exchangeable H ions bound on the soil colloids exert a favorable effect on the dispersion conditions of the latter and thus on the structure of the soil.

In addition, the effect of liming is very complex: it favors the processes of nitrification, the storage of nutrients, etc.

A considerable part of the costs of chemical soil amelioration is accounted for by the transport charges, which are particularly high in the mountainous regions. One way of reducing the costs is to extend the efficacy of amelioration to as long a time as possible. This purpose is very well served by synthetic materials, some of which can be made on the site, and combined with the ameliorating substance they surely prolong the efficacy of amelioration.

The acid soils of our country (almost 3 000 000 hectares) are made up mainly of acid, brown forest soils and acid meadow soils. The acid bog soils, sandy soils and alluvial soils cover a relatively small area.

Brown forest soils are found over large areas of the country, and as a considerable part of them are in need of amelioration we are going to deal with them in somewhat greater detail.

In a smaller area of the country there are highly acidic, non-podzolized brown forest soils formed on CaCO_3 -free rock. The organic matter derived from the roots of the undergrowth is extremely acidic: its pH value is 3,5–4,0. Even the mineral layers under the „A₁” horizon are strongly acidic, their pH is 5,0–5,5. They have ashy crumby structure with generally poor water holding capacity.

Similar small areas are occupied by podzolized brown forest soils which have also developed on CaCO_3 -free mother rock. It is characteristic of them that under the humified „A₁” horizon there is an ashy gray „A₂” horizon with dust structure. This is the so-called podzolic horizon which is acidic and very poor in nutrients.

The two kinds of soil described above are covered exclusively by natural or replanted forests. According to what follows amelioration with synthetic materials may be of great importance in reforestation.

The largest areas of forest soils in Hungary are clayed brown forest soils much of which has been tilled. They are soils in which the clay minerals of the eluvial horizon are washed down in unchanged form, without decay, into the „B” horizon where they accumulate. In the structure of the profile the „A₁” layer, which may be 10–20 cm thick, produces the humus-enriched horizon. This is usually loam with dusty, crumby structure or bound with sand. The „A₂” layer is the eluvial horizon whose humus content is much lower. This layer, when tilled, is often mixed with the „A₁” layer, and the original 5–8% humus content found under the forest falls to 1,5–2,0%. The structure of this layer is dusty, lower down occasionally plate-like, lamellar; its physical kind is loam or sand with some clay. The pH is here strongly reduced and shows the lowest value in the profile, around 5,0.

Plowland cultivation of these soils changes not only the humus layer but also the acidity of the soil because both hydrolitic acidity and exchange acidity become reduced. At the same time the pH value of the soil grows, for while the pH value of the eluvial horizon under the forest is 5,0–5,5, in the profiles under plowland cultivation it is around 6,0–6,5. It often happens that when subjected to plowland cultivation, the „A” horizon is destroyed and the plowed layer is formed on the accumulation horizon „B”.

To sum up: our primary task on these soils is to destroy the acidity of the soil and, in order to reduce erosion, to increase the water holding capacity of the surface.

Pseudogleyey brown forest soils in larger connected areas are mainly found in the western part of the country. They are characterized by very great differences between the water conductivity of the eluvial and enrichment horizons. Periodically supersaturation (stagnant water) occurs between the two horizons in consequence of which anaerobic conditions develop and a process of gleying starts in the „B” horizon.

Apart from this characteristic their properties agree with those of the clayey brown forest soils.

A considerable part of the soils of Őrség in western Transdanubia belong here. Their deterioration is first of all due to the climatic and relief conditions, secondly to unfavourable physical and chemical properties of the soils. here. Their deterioration is first of all due to the climatic and relief conditions, secondly to unfavorable physical and chemical properties of the soils.

The unfavorable physical and chemical properties can be eliminated by liming and the harmful superfluous water by drainage.

In Transdanubia and the North Hungarian Highlands Ramann's brown forest soils cover large areas. They were usually formed on CaCO_3 - containing native rock. Acidulation of the profile is only slight, its pH is rarely less than 6.5. The upper layer consists of small crumbs, contains no CaCO_3 , and is loam-adhesive.

An important subtype of it is the *rusty brown forest soil of Ramann* formed on sandy basement rock; accordingly its structure in the „A” horizon is loose sand and in the „B” horizon slightly packed sand.

Flow of sand is frequent on these soils and so protection against deflation is very important.

Among the acidic sandy soils of Nyírség and Somogy wider stretches of iron incrustation brown forest soils can be found which have been formed on CaCO_3 -free sand owing to the influence of forests. This type has got its name from the zigzag ferrous stripes deep in the profile. In these there is no connected „B” horizon in the eluvial layer but parallel compact acidic, colloidal layers at 10–25 cm from each other.

The iron incrustation brown forest soils are, owing to their better water economy, generally more fertile than the sandy soils. As a result of their light mechanical structure, deflation is frequent on them, especially in spring when the plowlands are mostly barren of vegetation and the green crops do not contribute to protection.

In the case of these soils it is of prime importance to make the water economy more favorable and to provide protection against deflation.

The meadow soils have been formed under varied natural conditions and thus there are sometimes very great differences between the different types. They are generally found in the alluvia of rivers, first of all of the rivers of the lowlands (the Tisza, the Kőrös rivers, the Maros), and to a smaller extent of the Danube and other rivers, in depressions between sand dunes as well as in the valleys of the hilly and mountainous regions. They are soils formed owing to the influence of the nearness of the ground water table and they are either CaCO_3 -containing or CaCO_3 -free. The chemical properties of the profiles are very varied according to the soil-forming rock. There are profiles that are limy already from their upper layer on, but more often the „A” horizon occasionally part of the

„B” horizon is noncalci. In such cases the chemical reaction of the upper layers is slightly acidic which does not exclude the possibility that in the case of heavy clay adhesiveness the hydrolytic acidity may be greater than 10. From the point of view of pedological conditions or soil amelioration the alluvial soils are judged similarly. Their amelioration consists in structure development by artificial materials.

From the point of view of amelioration *bog soils* under plowland cultivation fall in the same category. They are formed in the presence of an abundance of humidity. The chemical reaction of moss moor soils (moss peat saturated with water) is highly acidic, around pH 4.0. The *low moor soils* (depressions filled up by organic matter) are less acidic, their pH value is rarely below 5.5–6.0. In the case of bog soils hydrolytic acidity may be very great (around 100) owing to the great degree of cation replaceability of humic matter.

2. Alkali soils

About 1 million hectares of the arable land of the country can be qualified as alkali soil. (Of this about 1/2 million acres are non-calci, acid, and nearly neutral alkali soil).

By alkali soils generally soils are understood in the formation and character of which water-soluble salts, namely sodium salts, play a decisive role.

Alkali soils are of several types and subtypes with very many varieties. The degree of alkalization, the accumulation of salts, the thickness of the „A” horizon, the position of the „B” horizon, etc., all play a decisive role from the point of view of alkalization and agricultural utilization. They agree more or less in that they are hard to till, they are compact; if they contain many clay particles they become crusted when dry and dissolve and disperse when wet. Their water economy is very unfavorable, stagnant water pools are common on them.

Their amelioration — depending on their character — can be effected in several ways:

a) Non-calci, acid, and near — neutral alkali soils: A common feature of the soils belonging in this category is that to a smaller or greater depth they do not contain CaCO_3 . Their pH value is below 7.5. From the acid alkali soils with less unfavorable properties both the salts and the Na of the absorbing complex have begun to be eluted, thus the upper layer has become acid, i. e. unsaturated. In the absorption complex of the near-neutral alkali soils the accumulated Na ions play an important part.

b) Non-calci, alkaline alkali soils:

Here belong the non-calci alkali soils whose Na-saturation is so great that their pH is above 7.5. The salinity of the soil profile in the plow layer varies between 0.1–0.2% and increases toward the subsoil. On such alkali soils it is necessary to add also acid ameliorations to facilitate the solubilization of lime.

c) Basic and/or limy sodic alkali soils:

Limy alkali soils are highly basic (alkaline) their pH being higher than 8.2–8.3 often reaching or exceeding 9.0. In these soils Na is clearly predominant in the soil solution. Applying the above-mentioned facts to *genetic soil types*: liming and loessial subsoil spreading can be used for the amelioration of solonetz-like meadow soils, medium and deep solonetz meadow soils.

Loessial subsoil + acid upper layer and lime + gypsum spreading can be

used for the amelioration of columnar, shallow, medium meadow solonetz soils. The columnar, shallow solonchak-solonetz soils can be ameliorated only in patches with acid substances.

3. Sand Soils:

Of the three extensive sandy areas of our country in the land strip between the Danube and the Tisza, Somogy, and Nyírség approximately 1,5 million hectares need amelioration.

The elevated sandy plain between the Danube and the Tisza is generally limy, the lime content decreasing from the Danube toward the Tisza while the sandy areas in Somogy and Nyírség are acid. Liming of these soils is always of doubtful value and other methods of amelioration should be considered.

It is well known that the water and nutrient economy of the sandy soils is bad, and their amelioration is a primary task because it is in this way that the conditions of successful agricultural production on them can be ensured.

Now known means are:

- a) Dung (medium ripe)
- b) Bentonite, fen clay, peat
- c) Clay minerals, special ameliorating substances
- d) Various composts
- e) Deepmanurig, green manure

4. Bog soils:

About 100 000 hectares of bog soil of this country need amelioration. Amelioration of the bog soils is a very hard task and work on this project is constantly in progress.

In the case these soils first of all problems of water economy have to be solved. Besides this the anaerobic processes in the soil must be altered favorably and the decomposition of a large amount of organic matter must be controlled and utilized. (Bog soil exploitation.)

Besides consideration of the chemical, physical, and biological properties of the needing amelioration we must deal briefly with the soil-forming factors under whose influence the soil is formed and changed.

The mother rock, climate, relief, the evolution of the landscape, its flora and fauna, together with human activity produce the physical, chemical, and biological forms of the soils and their variability in space and time.

The soil temperature, water economy, salinity conditions, and aeration are of decisive importance. Other properties are important only as far as their effects can modify the soils.

The granulometric composition of the soil is determined by the physical and chemical processes taking place in the mother rock. At the same time an interaction is demonstrable, namely the granulometric composition influences the physical and chemical processes. The effectiveness or ineffectiveness of the interactions manifests itself in the productivity. In the final analysis the necessity of amelioration is determined by the productivity.

Heavy soils are generally richer in minerals such as feldspar, mica, calcareous rock, iron and many other compounds than light sand is. Solubility of the

different particles in heavy soils facilitates the the supply of the requirements of plants. In sandy soils there is usually only a small amount of mineral salts. The absorbing capacity of argillaceous soils is much better than that of sand. The amount of residual soil solutions is always determined by the size of the soil particles.

Heavy soils contain considerably more dampness than sandy soils. Water adsorption in the soil is always a function of the soil structure. Heavy soils ensure the capillary rise of water better than loose sand. The water permeability and degree of aeration of heavy soils are smaller than those of sand.

The puddled structure of heavy soils may hinder the supply of oxygen as well as the development of the roots of plants. At the same time the conditions of aeration may be unfavorable for plants. Heavy soils warm up and cool off more slowly than sand soils do.

Besides the afore-mentioned properties of the soils the alteration products in the soil, play an important role. The composition, amount, and properties of humus depend on the climate and the vegetable or animal substances from which it is formed. Accordingly there are considerable quantitative and qualitative differences between the humuses of forest, meadow, and grassland soils. Humus plays an important part in the development of the soil structure; if it can ensure a durable structure in some soil, it improves in the conditions of salt supply, aeration, water and heat economy.

Structured soil is looser than structureless. Heat, water, and air penetrate into the loose soil more easily, the large pores fill with water, and after seeping down, the water nourishes the plants for a long time.

Soil water is an important ecological factor, because it is a supplementary source of humidity. But this source of humidity may be useful or harmful, depending on the climate. If the soil water contains large quantities of harmful salts, it can itself be considered a harmful factor.

The thickness of the soil as an ecological factor indicates the depth of the mother rock. The soil-forming processes are generally active in a thin layer of the mother rock, and the roots of plants penetrate deeper only occasionally. The smallest soil thickness indicates the first stage of transformation or the hindering effect of climatic conditions. The biological weathering of different kinds of rock can be observed and even artificially accelerated. Simultaneously with biological wearing away physical and chemical weathering takes place.

The chemical character of the soil is determined by its mineral composition, the chemical and granulometric composition of its organic constituents, their physical properties, and the totality of the soil-forming factors.

Literature

1. Gazdálkodás szikeseinken. Mezőgazd. K. Budapest, 1959.
2. Genetikus üzemi talajtérképezés módszerekönyve. OMI Budapest, 1966.
3. Juhász J. — Dzubay M.: Basiv landscape units and soil amelioration with artificial fertilizers in Hungary. International Geographical Union European Regional Conference, Budapest, 1971. Abstracts of papers 76—77.
4. Stefanovits P.: Magyarország talajai. Akad. K. Budapest, 1963.

PRINCIPLES FOR THE USE OF ARTIFICIAL MATERIALS IN SOIL AMELIORATION

by

DR. DZUBAY, AND DR. J. JUHÁSZ

In our previous papers we have already mentioned the well-known fact that about one half of the agriculturally used area of this country needs amelioration because of the unfavorable natural conditions, and that it is generally poor in precipitation. Therefore we explained a few theoretical and methodological basic principles for the categorization of landscapes and the usefulness of artificial materials in soil amelioration (1).

In connection with the territorial distribution of precipitation we described those agriculturally used areas of this country that need amelioration. We described the territorial distributions of the sandy, bog, alkali, and acid soils on the basis of Hahosy's precipitation chart and Mattyasovszky, Görög and Stefanovits's soil map (1).

We have already pointed out in genetically uniform areas — floodbasin micro-landscapes — which are the areas where a uniform geological base, different plant associations, and the climate are the dominant factors.

On the basis of the territorial distribution of the annual precipitation and the need of the agriculturally used areas for amelioration we classified the areas of bog, sandy, acid, and alkali soils as landscape mosaics; accordingly we divided the cropland areas of the country into landscape units using a threefold distinctions (1). Such a method is favorable for the determination in advance of the artificial materials that can be used for soil amelioration. Thus it can be clearly determined whether in the territorial unit under examination the soil structure is to be stabilized or the air, water, or heat economy of the soil is to be *influenced* or controlled.

The advantage of the artificial materials as stabilizers over the natural structure-improvers, as humus clay, is that they do not decompose fast in the soil and that they can be applied in higher concentrations.

We have mentioned that the artificial materials and synthetic resins are chiefly organic materials with giant molecules or surface-active or neutral minerals. Their common property is that they stabilize the soil structure and influence some soil properties such as the air and water economy. We have also dealt with the

polyelectrolites, synthetic material foams as well as emulsions and true solutions from the point of view of their properties (1).

We classified the arable lands in need of amelioration in this country, because in their original state their chemical, physical, and biological properties are very different; thus we characterized them one by one from the point of view of their suitability for soil amelioration.

Nearly 3 million hectares of acid soil, 1 million hectares of alkali soil, 1,5 million of sandy soil, and nearly 100 000 hectares of bog need considerable treatment (2).

Owing to the interaction of the soil-forming factors the soils change. The variability in time and space of its physical, chemical, and biotic complexes is due to the variety of the relations between these factors. The conditions of *temperature, water economy, aeration, and salt content* are of basic ecological importance on any soil. The relations of these factors determine the quality of the soil and the type of amelioration needed.

Earlier we have already said that in this country the application of artificial materials for soil amelioration both in research and practice is only beginning (2). In the following we can deal with the *theoretical use and application of methods and synthetic materials* to be proposed because it is only through experiments that their application to different kinds of soil can become possible.

Amelioration of Acid Soils

In this part we deal chiefly with the amelioration of acid brown forest and acid meadow and alluvial soils.

To the first belong the nearly exclusively forested, strongly acid non-podzolic and podzolic brown forest soils. On replanting, the soil of the tree sockets dug up must be mixed to 10–15 volume per cent with open-pore (KF-piatherm foam) foams. These foams are suitable for binding water and nutrients, which the plants can take up easily from them.

We have in mind forested areas on steep slopes where the transportation of ameliorating substance and fertilizers is very expensive and difficult. Therefore it is advantageous to use foam that can be made on the site and transported artificial fertilizer concentrates.

From the point of view of agricultural use, clayed brown forest soils are far more important. On these soils the most important thing to do is to achieve neutralization of the acidity, increase in the water absorption capacity, and protection against erosion.

Neutralization of the acidity of the soil can be effected by using the traditional liming method. The last two tasks can be achieved by more modern means and more durably.

Polyelectrolites can be used to stabilize the soil structure; open-pore KF foams to increase the water absorption capacity and to reinforce protection against erosion or to ensure a more lasting effect than with the traditional methods.

If the „A” levels decay, the modern methods of amelioration agree practically with the above.

In *pseudogleyey brown forest soils*, which are chiefly found in Őrség, the elimination of similarly harmful properties is necessary, as in the clayed brown forest soils. In these, increasing of the water absorption capacity, decreasing of the acidity, and protection against erosion are necessary. There is no essential difference

rence in the achievement of the last two things, but there is an essential difference in the balancing of the water economy, depending on the properties of the type in question.

Between the „A” and „B” levels there is, in this case, a gleyey layer which is impervious to water. Thus the top soil fills up very quickly with water — stagnant water — and slides down the slope, this is known as solifluxion. For leading off the excess water and stopping the sliding of the soil we suggest the application of drainage with artificial materials between the two above-mentioned levels. Knobloch's method (3) is perfectly suitable for this purpose. The reduction processes (gleying) here are already partially stopped by drainage, but deep loosening can also help.

For the rusty brown subtype of Ramann's forest soils which forms on sand we suggest the following: amelioration is generally possible as described in detail in connection with sand and/or by laying down polyelectrolites, open-pore foams, and emulsions on the surface and deeper, for instance in the form of films and „asphalt banks”. Applied on the surface, these artificial materials afford excellent protection also against deflation.

We recommend the methods described in connection with sand chiefly for *sand with iron incrustation* which occurs in Nyírség and Somogy.

Meadow soils

Their characteristic in the presence of clay and heavy clay is compactness. Such soils are airless and their water: air ratio is unfavorable to microorganisms and plants. In this case the microorganisms take even the little air away from the plants.

In the interests of successful farming these soils must be made looser and richer in air. This can be achieved in a modern way by using in addition to liming, closed-pore artificial material foams (PSfoam) containing 98% of air. These foams are quite neutral materials, not binding any water or nutrients. As they decompose very slowly, they retain their effectiveness for years. They decay in time but cavities remain in their place.

A great part of the meadow soils have a buried solonetz layer near the surface. This is an extremely compact layer which is impermeable to water, and thus stagnant water gathers in the layer over it. The stagnant waters that appear then are hindrance to agricultural cultivation. In this case the compact layer can be eliminated by loosening of the subsoil and the introduction of closed-pore artificial material foam; thus the soil becomes permeable to water and the area can be used again.

Following this, the favorable soil structure forms in the plowed layer must be stabilized with the help of polyelectrolites.

Our *alluvial soils* need structure amelioration chiefly if they were formed on carbonateless clay a very long time ago. In connection with one of our large rivers that it is of a mainly middle course type, its deposited alluvium is not clay but rather silt — loam —. Its adhesiveness is not great, therefore its structure can be stabilized also by liming and using polyelectrolites.

If these acid, humic alluvial soils are compact clays, they must be limed and their aeration and water permeability must be secured with closed-pore artificial material foams, and the structure so formed must be preserved.

The same methods of amelioration must be employed on alluvial meadow soils if they were formed on CaCO_3 -free material.

In the amelioration of the *alluvial soils of slopes* by means of artificial materials the decisive thing is their origin: chernozem or forest soil acid or compact layers. It is these properties that determine the necessity of liming or the manner and place of the use of the polyelectrolites. In this case, too, these last serve for preserving the structure, and the foams serve to increase the water permeability. It can happen in such cases that the water conservation of loose alluvia of light mechanical composition derived from the A_2 level of forest soils must be ensured by the sprinkling of true solutions and the development of film or hydrophobic properties.

Amelioration of Alkali Soils

We can deal with the amelioration of these soils most suitably according to Prettenhoffer's classification (4).

Non-calcic acid and near-neutral alkali soils are found chiefly east of the river Tisza. Their classical method of amelioration is liming and lime dee manuring. Our opinion is that modern amelioration should use the afore-mentioned methods, and that after the afore-mentioned methods, and that after the development of a suitable structure, polyelectrolites must also be used in order to stabilize the artificially formed soil crumbs.

The effect of the polyelectrolites can manifest itself, besides stabilization of the structure, in the fact that on decomposition of their nitrogen content-polyacrylamide, polynitrile-, they supply N to the plants.

In the Soviet Union crude oil purified from aromatic compounds is also used experimentally and with good results for the amelioration of alkali soils (5).

Non-calcic, slightly alkaline (transitional) alkali soils

These too, are chiefly found east of the Tisza. They are traditionally ameliorated with limetgypsum, black earth-acid-deep layer spreading or with gypsum-containing yellow earth. Here, too, we want to use the abovementioned materials for amelioration but with the addition that we stabilize the good soil structure that has been developed. Thus in these alkali soils we hope to remove the soluble salts and the Na ions exchanged in the course of amelioration with the help of the loosening and water permeability-enhancing effect of closed-pore foam materials.

In the case of these alkali soils we must reckon also with the colloid-precipitating effect of the considerable amount of soluble salts. It must also be taken into consideration what effect the alkaline pH has on the hydrolizing polyelectrolites.

Alkaline and calcareous sodic soils. They are found mainly in the land between the Danube and the Tisza and in smaller areas east of the Tisza. The classical method of their amelioration is the use of acid materials. In this case first of all gypsum powder and gypsum by-products of factories may come into consideration. We want to achieve the amelioration of these soils, too, by the use of the afore-mentioned materials with the addition that they would be

applied in combination with artificial foams — polyelectrolites, foams, etc. — in different physical states.

On the land between the Danube and the Tisza, if the subsoil water has been regulated, these sodic soils, having generally a light mechanical composition, can be ameliorated quite deeply in a matter of a few years by gypsum treatment and the use of closed-pore artificial foams if we irrigate.

East of the Tisza the amelioration of this type of soil is much more difficult. The amelioration of larger connected areas — with the exception of the patches in the plowlands — requires much material and is still very expensive. Amelioration can therefore be carried out only in small areas at present and can be used to search for cheaper methods.

The amelioration of these areas is nearly the same as the amelioration of the sodic patches found in plowland areas, yet with this difference that in this case gypsum powder must be used as ameliorating material. Thus the good structure formed by cultivation must be preserved with the help of suitable polyelectrolites.

In connection with the amelioration of alkali soils it must be mentioned that the soil amelioration can also be done by a well-known agrotechnical method. This can be applied chiefly to soils with a „B” horizon containing but little Na; in the case of a larger Na content amelioration will be effective if simultaneously with the subsoil amelioration chemical ameliorators are introduced into the soil.

The washing out of possible Na can be facilitated by filling the interstices with artificial material foams thus hindering their closing.

The closed-pore Ps foam makes the penetration of precipitation possible thus directly promoting better leaching. On patches of alkali soil amelioration can be carried out, as explained above, according to their alkaline nature. On these patches the ameliorating materials must be spread by abundant manuring. Occasionally black earth chernozem underspreading and loosening combined with the introduction of ameliorators can be used. In order to achieve perfect amelioration it may be necessary to repeat the procedure several times. It must be noted, however, that the use of polyelectrolites on alkali soils does not always have the same effect; in case of wrong application it may be ineffective. *The effect of the polyelectrolites depends on their composition, dosage, the manner of their application, the mechanical structure and porosity of the soil, the quality of their active functional groups, the alkalinity caused by Na, the water control, etc.*

Amelioration of Sand Soils

In our previous papers we have already mentioned that a large part of the sandy areas of this country, about 3 million acres, need amelioration (6). On these soils, as is known, the unfavorable properties must first be eliminated; they are:

1. excessive water permeability, that is poor water holding capacity,
2. scarcity of nutrients,
3. tendency to deflation.

Besides the now traditional means of amelioration such as stable dung, bentonite, bog soil, peat, clay minerals, composts, green manure layer amelioration, etc., or in combination with these, we recommend the use of artificial materials, polyelectrolites, open-pore artificial resins and emulsions of the hygromull type.

The polielectrolites hinder the breakdown of organic substances in sand and

their ion exchanging atom groups convey the nutrients to the plants and by their slow decomposition they may also provide nitrogen (4). To balance the nutrient economy of sands we use first of all artificial material foams and their combinations with mineral fertilizers. The KF and piatherm foams mixed with peat and artificial fertilizers are introduced into the soil by traditional means. Then they bind the water that gets into the sand and they transmit it together with the nutrients to the plants. By their slow decomposition they themselves constitute nitrogen sources (7). KF foam is used for binding and grassing sandy surfaces and sand dunes. Thus, for instance, the foamy artificial material is mixed into a kind of mush with the addition of grass seeds, mineral fertilizers, and water, and the liquid mass is then sprinkled over the area with the help of pumps. Thus the material, adhering to the soil, stores the water like a sponge later on too hinders deflation of the sand and provides a good bed for the germinating seeds (3).

All three methods are first of all aimed at *changing the unfavorable properties of the sand*; at the same time emulsions and solutions of the different materials are also used for this purpose.

a) Surface treatment

The emulsions of the different kinds of asphalt or petroleum resins and crude oil products as well as the KF foam materials must be brought on to the surface of the sand with an equipment suitable for the spraying of plant-protecting materials. However, the film that forms is pervious to water to such a degree that the soil under it can be saturated with water. The thin connected film reduces evaporation and absorbs the light rays. Owing to this, the temperature of the sand under the covered parts is higher. The film protects the seeds sown from erosion by rain and wind, but the plants coming up can break through it easily and develop undisturbed. In general these films do not contain any nutrients for plants and so the sand soils treated in this manner must be enriched with nutrients and artificial fertilizers.

b) Deep treatment

In this case the large pore space of sands is used for storing precipitation or irrigation water. In such a case the water-impervious layer forms under the root zone. With the help of a suitable equipment — the winged hoe — asphalt emulsion must be introduced 40 cm deep into the sand. The American machine generally lifts the soil 25 cm deep and from 26 nozzles it squirts an 85 cm wide, instantly solidifying asphalt layer. The artificial asphalt bank in the sand doubles the amount of residual water. Besides this the increase in organic substances in this layer over the years is also significant (6).

Amelioration of Bog Soils

Besides the classical methods — draining, liming, addition of nutrients, sand treatment, burning, etc. — we do not recommend amelioration of these soils with other methods or artificial materials because of the large organic matter content and the good structure. The most radical interference in the dynamics of these soils without drying them out too much is the draining of the excess water. Plowing of the topsoil, loosening, occasionally liming, manuring, and artificial breeding of the bacteria add to the effect. All these measures serve to break the predominance of reductive conditions.

For the amelioration of meadow marshes the classical methods are satisfactory with the exception of the following cases:

1. If the profile is incomplete, the „A” and „B” horizons are missing, only the gleyey mother rock the „C” horizon has remained; if this latter is CaCO_3 -free and it is clay, then addition of closed-pore artificial material foams is necessary. In this way the aeration of overly wet soils will be ensured. At the same time the favorable structure developed by cultivation must be preserved with the help of polyelectrolites.
2. If the meadow marsh is highly acid at pH 4,5, liming adjusted on the basis of experiments is necessary.
3. If the soil of the meadow marsh is mixed with solonchak, continuous draining combined with washing trough must be ensured. If a disturbing circumstance, e. g. an intervening clay layer, hinders this, closed-pore artificial material foams must be introduced into the compact layer in order to ensure free percolation of water.
4. If the soil of the meadow marsh is mixed with solonetz, amelioration must be carried out as in the case of the alkali soils.
5. If at the surface of the soil or near to it there is a compact layer, such as a limestone bank, a cemented pebble layer, ironstone, a gleyey layer, etc. which is impervious to water, the soil becomes unsuitable for cultivation. This can be repaired by opening the way to percolating water through the introduction of chiefly closed-pore artificial material foams into this layer, if it is feasible at all.

The above-described method must be used also in analogous cases of drained and tilled meadow marsh soils.

In the literature mechanical, chemical, and biological methods are recommended for the amelioration of the oxygen economy of bog soils (5). Surveying the different methods we see that we can deal only with the amelioration of such soils as constitute about 40% of our agriculturally productive areas. We have not dealt with the preservation of the structure of our best soils, the chernozems and the barren stony, rocky, mining waste tip areas.

We think that the use of artificial materials in the afore-mentioned areas will be of great importance in the near future. It is not meant that only the methods of amelioration described here can be used for the different types of soils, but that the methods indicated should be considered in preference to other methods. In every case it is the environmental factors, physical, chemical, and biological properties of the soil that determine the method of amelioration.

Literature

1. Gazdálkodás szikeseinken. Mezög. K. Budapest, 1959.
2. OMMI Genetikus üzemi talajtérképezés módszerekönyve. OMMI, Budapest, 1966.
3. Knobloch M.: Der Einsatz synthetischer Bodenverbesserungsmittel bei Meliorationen. Z. Kulturtechn. Flurbereinigung. Berlin-Hamburg, 1967. 1. sz. 54-59.
4. Prettenhoffer I.: Hazai szikések javítása és hasznosítása. Tiszántúli szikések. Akad. K. Budapest, 1969.
5. Качинский, Н. А.—Мосолова, А. И.—Таймурадова, Л. К.: Использование полимероз для оструктурирования и мелкораций почв. Почвоведение. Москва, 1967. 12. 96 — 106. р.
6. Juhász J.—Dzubay M.: Basic landscape units and soil amelioration With artificial fertilizers in Hungary. International Geographical Union European Regional Conference, Budapest, 1971. Abstracts of papers 76-77.
7. Stefanovits P.: Magyarország talajai. Akad. K. Budapest, 1963.

CONTENTS

<i>Dr. L. Jakucs:</i> Die Deutung der Karstkorrosion der in der Natur vorkommenden Kalkgesteine in der Geomorphologie Unserer Zeit	3—36
<i>Dr. M. Andó:</i> Major Weather Elements Influencing Plant Cultivation in Csongrád County	37—46
<i>Dr. Gy. Krajkó:</i> Theoretical and Methodical Problems of Economic Microareas	47—62
<i>Dr. J. Tóth:</i> Characteristic Features of the Population Growth in the Central Settlements of Hungary in 1960—70	63—75
<i>Mrs. Abonyi—Dr. J. Palotás:</i> Economic Geographical Problems of the Poultryprocessing Industry of the Southern Part of the Great Hungarian Plain	77—83
<i>Dr. I. Toronykőy, Dr. J. Juhász, Dr. M. Dzubay:</i> The Soils of Hungary Needing Amelioration	85—90
<i>Dr. M. Dzubay, and Dr. J. Juhász:</i> Principles for the use of Artificial Materials in Soil Amelioration	91—97

Felelős kiadó: Dr. Pénzes István

Megjelent 500 példányban 8,75 (A/5) iv terjedelemben + 1 db melléklet

Kézirat nyomdába érkezett: 1972. július hó

Készült: Monophoto 600 fényszedéssel, íves ofsetnyomással az MSZ 5601—59 és az MSZ 5603—55 szabványok szerint

73. 23638 Petőfi Nyomda, Kecskemét